

3100097008828

STUDI PENGENDALIAN FREKUENSI MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY DI PLTU PAITON

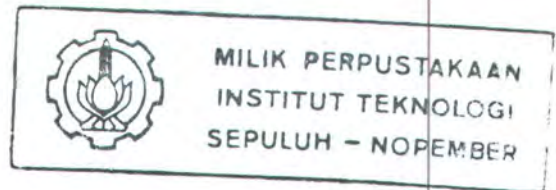
[TUGAS AKHIR]

Oleh,

SYAHRUL FIZA

Nrp. 293 220 2188

RSE
621.831 2
Fiz
S-1
1996



PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	21 JAN 1997
Terima Dari	H
No. Agenda kep.	6862

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
1996

STUDI PENGENDALIAN FREKUENSI MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY DI PLTU PAITON

[TUGAS AKHIR]

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Ir. H.M. DJOKO SANTOSO

Dosen Pembimbing II



Ir. IMAM ROBANDI, M.T.

SURABAYA

JULI, 1996



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

ABSTRAK



*"Dan Allah mengetahui apa yang kamu rahasiakan
dan apa yang kamu lahirkan"*

(QS. An Nahl : 19)

Duta Jasa

ABSTRAK

Dalam pengaturan frekuensi pada sistem tenaga listrik dapat dilakukan dengan metode-metode kontrol. Namun dalam penelitian ini akan di coba pengendalian frekuensi dengan menggunakan Logika Fuzzy. Dasar pemikiran ini diambil dengan bertitik tolak kepada beberapa pertimbangan yaitu dilihat dari keunggulan Logika Fuzzy. Dalam konsep Logika Fuzzy tidak dituntut pemodelan matematik yang dalam kenyataannya cukup rumit, namun informasi cukup didapat dari hasil pengalaman operator. Oleh sebab itu baik tidaknya hasil yang didapat tergantung dari operator itu bekerja. Dari uraian diatas penerapan konsep Logika Fuzzy akan menjadi tepat kalau diterapkan pada plan-plan yang berorde tinggi.

Kata Pengantar



" Sesungguhnya jika kamu bersyukur, pasti Kami (Allah) akan menambah (ni'mat) kepadamu, dan jika kamu mengingkari (ni'mat-Ku), maka sesungguhnya azab-ku amat pedih".

(QS. Ibrahim : 7)



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir ini yang berjudul :

STUDI PENGENDALIAN FREKUENSI

MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY

DI PLTU PAITON.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk meraih gelar sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis dalam menyusun tugas akhir ini telah berusaha dengan segenap kemampuan dengan harapan dapat menghasilkan karya sebaik mungkin, namun hasil penulisan ini masih terasa jauh dari sempurna. Meskipun demikian, besar harapan penulis semoga buku tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan almamater tercinta, terutama rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, bangsa dan negara.

Wassalamualaikum Wr.Wb

Surabaya, Juli 1996

Penulis

Ucapan Terima Kasih



"Adapun orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal-amal saleh, maka bagi mereka syurga-syurga tempat kediaman, sebagai pahala terhadap apa yang mereka kerjakan."

(QS. As Sajdah : 19)

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan rasa syukur yang tak terhingga ini penulis sampaikan kepada Allah S.W.T semata, hanya karena kasih sayang-Nyalah tugas akhir ini dapat diselesaikan. Kemudian kepada berbagai pihak yang telah banyak membantu dan membimbing mulai dari proses persiapan hingga penyelesaian tugas akhir ini, secara khusus penulis ucapkan terima kasih yang tulus kepada :

- Ayahanda H. Darmansyah M.S dan Ibunda Hj. Rosdiana yang telah melahirkan dan membesarkan penulis dengan penuh perhatian dan kasih sayang, tak lupa juga adiknda Nora, Ferry dan Vera.
- Bapak Ir. H. M. Djoko Santoso selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
- Bapak Ir. Imam Robandi M.T., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Bapak Ir. R. Wahyudi, selaku dosen wali atas pengarahannya.
- Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Elektro, FTI-ITS yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Rekan-rekan PMKTR, keluarga besar GP-14 dan KLA I/23 yang telah banyak memberikan dorongan dan bantuan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.

- Ricky, Fatah, Yanto dan Firdaus yang telah membantu dan memberi semangat hingga karya ini dapat terselesaikan.

Semoga segala kebaikan tersebut mendapat balasan dari Allah SWT.

Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat mempunyai manfaat serta dapat dikembangkan lebih lanjut guna memenuhi tuntunan akan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dimasa yang akan datang.

Daftar Isi



"Hendaklah engkau menjadi orang yang berilmu atau orang yang belajar atau mendengar ilmu dan janganlah engkau menjadi orang keempat, yakni yang tak termasuk salah seorang dari kelompok orang diatas agar tidak binasa".

(Abu Darda)

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	4
1.5. Metodologi	5
1.6. Sistematika	6
1.7. Relevansi	7
BAB 2. TEORI HIMPUNAN DAN LOGIKA FUZZY	8
2.1. Himpunan Klasik (Crisp)	9
2.1.1. Operasi-Operasi Himpunan Klasik	10
2.1.2. Sifat-Sifat Himpunan Klasik (Crisp)	11
2.2. Himpunan Fuzzy	12
2.2.1. Defenisi Dan Operasi Dasar Himpunan Fuzzy	13
2.2.2. Fungsi Keanggotaan Fuzzy	17
2.3. Variabel Linguistik	19
2.4. Pengatur Logika Fuzzy	21
2.4.1. Struktur Dasar PLF	21
2.4.2. Fuzzifikasi	22
2.4.3. Basis Data	23

2.4.3.1. Kuantisasi Dan Normalisasi	23
2.4.3.2. Pembagian Ruang Masukan Dan Keluaran	25
2.4.3.3. Pemilihan Fungsi Keanggotaan	26
2.5. Aturan Dasar	27
2.5.1. Pemilihan Variabel Masukan Dan Keluaran	28
2.5.2. Penurunan Aturan Kontrol-Kontrol Fuzzy	28
2.6. Logika Pengambilan Kesimpulan	32
2.6.1. Aturan Kontrol Fuzzy	33
2.6.2. Fungsi Implikasi Fuzzy	37
2.6.3. Penafsiran Kata Hubung	35
2.6.4. Operator Komposisional	36
2.6.5. Mekanisme Inferensi	37
2.7. Defuzzifikasi	40
 BAB 3. PENGENDALIAN FREKUENSI DALAM SISTEM TENAGA LISTRIK	 42
3.1. Daya Aktif Dan Frekuensi	43
3.2. Sistem Pengaturan Frekuensi	48
3.3. Sistem Governor	49
3.4. Model Dinamis Sistem Tenaga Listrik	50
3.4.1 Model Governor	50
3.4.2. Model Turbin	53
3.4.3. Model Beban	54
3.4.4. Respon Dinamis Sistem	56
 BAB 4. PENGENDALIAN FREKUENSI DENGAN LOGIKA FUZZY	 58
4.1. Karakteristik Sistem	59
4.2. Pengatur Logika Fuzzy	64
4.2.1. Penentuan Variabel Masukan Dan Keluaran Fuzzy	65
4.2.2. Strategi Pengaturan Pengatur Logika Fuzzy	66
4.2.2.1. Basis Data	66
4.2.2.2. Penyusunan Aturan Dasar	69
4.2.2.3. Logika Pengambilan Keputusan	73
4.2.2.4. Defuzzifikasi	73
4.3. Persamaan Sistem Pembangkit Listrik	74

BAB 5. SIMULASI DAN ANALISIS TERHADAP GANGGUAN PADA PLTU PAITON	79
5.1. Parameter-Parameter Pengatur	79
5.2. Data	80
5.3. Diagram Alir Program Simulasi	81
5.4. Simulasi	83
5.5. Hasil Simulasi	84
5.6. Analisis	89
 BAB 6. PENUTUP	 91
6.1. Kesimpulan	91
6.2. Saran	92
 DAFTAR PUSTAKA	 93
LAMPIRAN	94

Daftar Gambar



"Pelajari ilmu !, sesungguhnya menuntut ilmu adalah pendekatan diri kepada Allah SWT dan mengajarkannya kepada orang yang tidak mengetahuinya adalah sodaqoh".

(H.R. Ar. Rabu)

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HALAMAN
2.1. Perbandingan Bentuk Fungsi Keanggotaan Crisp dan Fuzzy	13
2.2. Bentuk Fungsi Keanggotaan (a) Eksponensial, (b) Segitiga, dan (c) Trapesium	18
2.3. Penafsiran Grafis Variabel Linguistik	20
2.4. Blok Diagram Pengatur Logika Fuzzy	22
2.5. Penafsiran Grafis Dari Tabel 2.1 Yang Telah Dinormalisasi	25
2.6. Contoh Penggunaan Fungsi-Fungsi Keanggotaan Fuzzy	27
2.7. Tanggapan Sistem Loop Tertutup	29
2.8. Penafsiran Grafis Lemma 2 Dengan α^* dan R_c	39
2.9. Penafsiran Grafis Lemma 3	40
3.1. Diagram Vektor dari Fluks Magnetik (Φ), Gaya Gerak Listrik(E) Arus (I), dan Tegangan Jepit Dari Sebuah Generator Sinkron	45
3.2. Vektor Diagram Dua Buah Generator Yang Bekerja Paralel	46
3.3. Sistem Pengaturan Frekuensi	47
3.4. Sistem Pengaturan Governor	51
3.5. Diagram Blok Sistem Pengaturan Frekuensi Satu Area	52
3.6. Blok Diagram Sistem Frekuensi Beban Satu Area Dengan Pendekatan Orde Satu	56
3.7. Respon Dinamis Untuk Perubahan Frekuensi Untuk Setiap Perubahan Beban	57
4.1. Prinsip Kerja Governor	60
4.2. Respon Governor Yang Astatik	61
4.3. Karakteristik Speed Droop Governor	62
4.4. Proses Pengaturan Frekuensi Sebagai Fungsi Waktu	63
4.5. Blok Diagram Pengaturan Frekuensi	64
4.6. Penafsiran Grafis Dari Tabel 4.1.	68
4.7. Penjelasan Secara Grafis Metode Berfikir Pengatur Logika Fuzzy (PLF)	75
4.8. Diagram Blok Pengatur Logika Fuzzy (PLF) Untuk Sistem Pengaturan Frekuensi	74
5.1. Sinyal Gangguan Perubahan Beban Fungsi Step	84

5.2.	Tanggapan Waktu Perubahan Frekuensi Terhadap Perubahan Beban Fungsi Step	85
5.3.	Tanggapan Waktu Perubahan Daya Pembangkit Terhadap Perubahan Beban Fungsi Step	85
5.4.	Sinyal Gangguan Perubahan Beban Fungsi Tangga	86
5.5.	Tanggapan Waktu Perubahan Frekuensi Terhadap Perubahan Beban Fungsi Tangga	87
5.6.	Tanggapan Waktu Perubahan Daya Pembangkit Terhadap Perubahan Beban Fungsi Tangga	87
5.7.	Sinyal Gangguan Perubahan Beban Fungsi Segitiga	87
5.8.	Tanggapan Waktu Perubahan Frekuensi Terhadap Perubahan Beban Fungsi Segitiga	88
5.9.	Tanggapan Waktu Perubahan Daya Pembangkit Terhadap Perubahan Beban Fungsi Segitiga	89

Daftar Tabel



"Pelajari ilmu !, pelajari ilmu untuk ketentraman, ketetapan hati dan kelembutan jiwa. Tunduk dan rendahkanlah dirimu kepada orang yang padanya kamu belajar".

(Umar r.a)

DAFTAR TABEL

TABEL	HALAMAN
2.1. Contoh Normalisasi Himpunan Fuzzy Pada Segmen Tertentu	25
2.2. Prototipe Aturan Kontrol Linguistik Dengan 3 Nilai	30
2.3. Penyempurnaan Aturan Kontrol Dengan 3 Nilai	30
2.4. Prototipe Aturan Kontrol Dengan 7 Nilai	31
2.5. Penyempurnaan Aturan kontrol Dengan 7 Nilai	31
2.6. Tabel Keputusan Aturan Kontrol Fuzzy MacVicar - Welan	32
4.1. Pendefenisian Bentuk Fungsi Uniform	68
4.2. Tabel Keputusan Mac-Vicar Welan	70
5.1. Tabel Keputusan Perubahan Sinyal Atur	80

Daftar Notasi



"Allah mempergantian malam dan siang. Sesungguhnya pada yang demikian itu, terdapat pelajaran yang besar bagi orang-orang yang mempunyai penglihatan."

(QS. An Nuur : 44)

DAFTAR NOTASI

$\partial P_D / \partial f$	perubahan beban terhadap frekuensi
$1/R$	speed droop governor
A	matrik variabel keadaan
α	operasi minimum produk cartesian
a	rataan
B	matrik variabel masukan
b	sebaran
\cap	operasi gabungan
ΔT	perubahan kopel
D	konstanta positif untuk beban motor
Δf	perubahan frekuensi
Δu	perubahan sinyal atur
$\Delta e, e2$	perubahan error
$\Delta f[k]$	simpangan keluaran sistem pengaturan frekuensi
ΔP_C	daya keluaran turbin
ΔP_D	perubahan beban
E	matrik variabel gangguan
\cup	operasi irisan
\supseteq	himpunan bagian
$e, e1$	error
$e_1[k], e_2[k]$	variabel masukan
$e1[k]$	error sekarang
$e2[k-1]$	error yang lalu
Φ	fluksi
f	nilai frekuensi
f_0	frekuensi nominal
H	momen inersia dari generator
\in	elemen
\notin	bukan elemen
I_1, I_2, I_3, I_4	lengan-lengan governor
$jumlah$	jumlah pembilang defuzzifikasi

$jum2$	jumlah penyebut defuzzifikasi
K_p	konstanta penguatan (gain) sistem tenaga
k_1, k_7	konstanta positif
K_i	konstanta penguatan (gain) integrator
μ	fungsi keanggotaan
μ_F	fungsi keanggotaan F
$M[i,j]$	pembobotan untuk rata-rata $R_3[i,j]$
n	kecepatan putaran permenit
P_g	daya gear kecepatan governor
p	jumlah pasang kutub
P_{OG}	daya keluaran generator
q	laju debit aliran minyak ke silinder
R_c	rule operasi mini
$R_1[i], R_2[j]$	rataan himpunan e_1 dan e_2
$RuF[i,j]$	rataan himpunan u sesuai tabel MacVicar
s	variabel kompleks Laplace
T_p	konstanta waktu sistem tenaga
T_B	kopel beban yang membebani generator
T_g	konstanta waktu governor
T_G	kopel penggerak generator
T_s	waktu sampling
T_t	konstanta waktu turbin
$T(u)$	nilai linguistik
u_0	sinyal atur crisp
u	sinyal atur
\wedge	operasi minimum
$u[k]$	variabel keluaran
W_0	energi kinetik
ω	kecepatan sudut dari generator
X_v	pembukaan katup uap
x	nama variabel
\dot{x}	turunan pertama variabel $x(t)$ terhadap waktu
$x(t)$	variabel keadaan sistem bentuk umum
x_{OD}	setting pembukaan/penutupan katup uap
Z_0	defuzzifikasi

Bab Satu Pendahuluan

1



Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu yang menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah ! Dan Tuhanmu yang paling pemurah yang celah mengajar (manusia) dengan kalam. Dia yang mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya.

(Q.S. Al'Alaq 1-5)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Sejak dikemukakannya teori himpunan Fuzzy oleh LA. Zadeh tahun 1965, penelitian kearah aplikasinya berkembang pesat, terutama bidang rekayasa. Perancangan sistem pengaturan, baik yang konvensional maupun modern memerlukan pendekatan matematis terhadap plantnya. Aturan-aturan kontrolnya diturunkan dari model matematis yang menyatakan hubungan antara masukan dan keluaran plant. Untuk proses yang tidak terlalu kompleks, sistem pengaturan konvensional masih dapat diterapkan dengan baik, karena persamaan matematis plant masih dapat dicari. Tetapi untuk proses yang kompleks, akan sulit untuk menentukan persamaan matematisnya. Kesulitan juga akan bertambah jika perancangannya memperhitungkan faktor-faktor non linearitas dan parameter-parameter proses secara lengkap [5].

Namun seorang operator berhasil dalam mengatur suatu proses meskipun tanpa memodelkannya. Operator tersebut dalam menterjemahkan keadaan plant tidak menyimpulkannya dalam bentuk numerik, tetapi dengan bahasa alami, *seperti suhu agak panas, frekuensi turun, putaran sangat cepat, katub sedikit terbuka* dan sebagainya.

Dalam mengatur proses tersebut, operator dapat mengungkapkan secara kualitatif besaran-besaran proses dan pengambilan kesimpulan terhadap proses yang terjadi secara kualitatif. Jadi operartor bekerja dengan menggunakan

informasi secara kualitatif yang bersifat tidak tepat (*imprrecise*), tidak tentu (*uncertain*) dan penuh keraguan (*vaqueness*), ungkapan tersebut disebut istilah-istilah linguistik. Pengatur logika fuzzy mampu untuk merepresentasikan cara kerja operator manusia tersebut yang didasari oleh teori himpunan Fuzzy. Dengan kata lain Pengatur Logika Fuzzy (PLF) merupakan suatu kontrol yang pada prinsipnya merubah strategi kontrol linguistik ke dalam strategi kontrol otomatis [13].

Tidak dapat diramalkan perubahan-perubahan pada beban dan kurangnya data kuantitatif menuntut kemampuan operator di pembangkit tenaga listrik untuk dapat mengatur daya keluarannya secara kualitatif tetapi sesuai dengan kebutuhan agar perubahan frekuensi yang terjadi dapat dikembalikan lagi sesuai dengan frekuensi nominalnya.

Di dalam sistem tenaga listrik selalu terjadi perubahan beban, apabila beban lebih besar dari pembangkitnya maka frekuensi akan turun dan sebaliknya bila pembangkitnya lebih besar dari bebannya maka frekuensi akan naik sehingga akan mempengaruhi kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Untuk menjaga kualitas pelayanan tenaga listrik tersebut, maka diperlukan pengaturan frekuensi yang bekerja sesuai dengan naik turunnya beban, sehingga frekuensi sistem dapat dijaga pada harga nominal.

Oleh karena itu dikembangkan suatu pengaturan frekuensi dengan menggunakan Logika Fuzzy yang dilengkapi dengan basis pengetahuan. Basis pengetahuan ini mengandung kaidah-kaidah atur yang berupa pernyataan bersyarat dengan predikat-predikatnya dalam bentuk himpunan Fuzzy.

Berdasarkan kaidah atur ini diharapkan pengaturan logika Fuzzy mampu melakukan penalaran seperti halnya seorang operator yang terampil.

1.2. PERMASALAHAN

Bertitik tolak pada latar belakang di atas maka perlu adanya pengaturan governor untuk mengatur banyaknya bahan bakar, atau uap yang masuk ke turbin agar dihasilkan keseimbangan daya pada sistem, untuk menjaga perubahan frekuensi (Δf) pada batas tertentu dan mengembalikan nilai frekuensi (f) ke nilai nominal (f_0) yang secara praktis dapat diterima hasil pengukuran performansi dinamisnya. Berdasarkan hal tersebut diperlukan kerja kontroller pengubah gear kecepatan governor yang mengatur pembukaan katup uap (X_v). Jika daya gear kecepatan (P_g) governor yang dihasilkan dari pelepasan bahan bakar atau uap tersebut sesuai dengan perubahan beban ΔP_D , frekuensi akan dijaga pada nilai nominalnya.

1.3. BATASAN MASALAH

Untuk merealisasikan pengaturan frekuensi dengan logika Fuzzy dan menghindari pembahasan yang terlalu meluas pada tugas akhir ini, maka perlu diadakan pembatasan-pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Komponen-komponen sistem pengaturan ini, terdiri dari Governor, Turbin Generator, Speed Droop Governor, Pengatur Logika Fuzzy (PLF) dan sistem beban pada PLTU Paiton .

2. Himpunan-himpunan Fuzzy didefinisikan pada semesta pembicaraan kontinu dengan fungsi keanggotaan adalah fungsi segitiga, dimana $\mu_{F(x)} = 1 - (\sqrt{(x-a)^2})/b$, dengan a = rata-rata dan b = sebarannya.
3. Fungsi implikasi fuzzy yang digunakan untuk menyatakan kaidah atur adalah kaidah operasi minimum implikasi fuzzy Mamdani dan kaidah operasi perkalian implikasi fuzzy Larsen.
4. Kaidah komposisi yang digunakan dalam penarikan kesimpulan adalah kaidah komposisi sup-min.
5. Untuk menyatakan kata penghubung *dan* yang menghubungkan antara dua predikat dari pernyataan suatu kaidah atur, digunakan operasi minimum (irisan).
6. Untuk menyatakan kata penghubung *juga*, yang menghubungkan antara satu kaidah atur dengan kaidah atur yang lain, digunakan operasi yang sesuai dengan metode defuzzifikasi yang digunakan.
7. Model mesin adalah mesin tunggal dan sistem diasumsikan linear.

1.4. TUJUAN

Pada Tugas Akhir ini tujuan yang akan dicapai ialah membuat rule-rule dari logika fuzzy yang akan dipakai untuk mengendalikan frekuensi pada pembangkit. Aturan dasar kontrol logika Fuzzy diturunkan secara heuristik berdasarkan pengenalan terhadap objek atur dan perilaku pengaturannya. Hasil perancangan berupa perangkat lunak akan diterapkan pada sistem pengaturan proses dengan cara simulasi.

1.5. METODOLOGI

Metode atau tahapan penelitian yang dilakukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini antara lain yaitu :

1. Mendapatkan informasi dari beberapa sumber yaitu buku-buku yang berkenaan dengan pengendalian frekuensi dan buku-buku tentang teori himpunan dan logika Fuzzy beserta jurnal-jurnal dari IEEE yang membantu tugas akhir ini.
2. Mendefinisikan dan menentukan jumlah variabel linguistik yang akan digunakan dalam aksi atur ini.
3. Membuat tabel pandang (*look up table*) untuk menentukan kaidah-kaidah atur pengaturan logika fuzzy sesuai dengan jumlah variabel linguistik yang digunakan.
4. Membuat perangkat lunak sebagai simulasi pengatur logika fuzzy yang mampu melakukan fuzzifikasi, penalaran logika fuzzy dan defuzzifikasi sehingga pengaturan logika fuzzy mampu memberikan sinyal atur yang sesuai berdasarkan galat (*error*) dan perubahannya.
5. Menguji kebenaran Pengatur Logika Fuzzy (PLF) dengan memberikan gangguan yang berupa penambahan beban. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan sistem konvensional.
6. Hasil perbandingan ini kemudian dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk grafik, maupun numerik.

1.6. SISTEMATIKA

Sistematika pembahasan pada Tugas Akhir ini tersusun sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan, Bab pertama ini berisi tentang Latar Belakang, Permasalahan, Batasan Masalah, Tujuan, Metodologi, Sistematika dan Relevansi.

BAB II : Teori Himpunan Dan Logika Fuzzy, Bab kedua membahas tentang teori himpunan fuzzy, perbandingan antara logika fuzzy dengan logika klasik, variabel linguistik, pengaturan logika fuzzy, pada bagian Pengaturan Logika Fuzzy menjelaskan struktur dasar Pengatur Logika Fuzzy (PLF), fuzzifikasi, basis data, aturan dasar, logika pengambilan keputusan dan yang terakhir defuzzifikasi.

BAB III : Pengendalian Frekuensi Dalam Sistem Tenaga Listrik, Bab ketiga membahas mengenai komponen-komponen dari sistem tersebut seperti governor, turbin, generator , regulator frekuensi akibat kerja governor. Hasilnya akan diperoleh model dinamis dari komponen-komponen tersebut. Kemudian persamaan umumnya ditentukan..

BAB IV : Pengendalian Frekuensi Menggunakan Logika Fuzzy, Bab empat merupakan pokok permasalahan dalam tugas akhir ini, membahas mengenai karakteristik sistem, persamaan sistem pembangkit listrik, penyusunan basis data, penyusunan aturan dasar, logika pengambilan keputusan, dan defuzzifikasi dan hasil perancangan dalam perangkat lunak..

BAB V : Analisis Dan Simulasi Terhadap Gangguan Pada PLTU Paiton, Bab lima berisi pengujian terhadap hasil perancangan yang dilakukan

dengan simulasi komputer dan analisa tentang data pengujian. Untuk mempermudah analisis , seluruh data yang diperoleh dibuat dalam bentuk grafik dan gambar, yang didapatkan dari hasil simulasi.

BAB VI : Penutup, Bab keenam merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari tugas akhir dan saran mengenai kemungkinan pengembangan perancangan yang telah dilakukan.

1.7. RELEVANSI

Dari pembuatan Tugas Akhir ini diperoleh manfaat berupa penerapan ilmu yang telah diperoleh selama perkuliahan serta penambahan ilmu, khususnya penerapan pengendalian frekuensi dengan konsep pengaturan logika fuzzy dalam sistem tenaga listrik.

Memberikan contoh solusi yang diperoleh dengan konsep logika fuzzy untuk sistem pengendalian frekuensi pada suatu sistem dengan karakteristik komponennya adalah linear dan memberikan peluang untuk dikembangkan lagi dengan diperhitungkan efek ketidaklinearan sistem.

Bab Dua Teori Himpunan Dan Logika Fuzzy

2



"... Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.

(Q.S. Al Mujaadilah 11)

BAB 2

TEORI HIMPUNAN DAN LOGIKA FUZZY

Pada dasarnya manusia mengenal objek dengan memberikan klasifikasi secara kualitatif seperti besar, kecil, tinggi, rendah, dan sebagainya, yang diklasifikasikan sebagai terminologi linguistik. Batas antara satu kebenaran dengan kebenaran lainnya tidak tegas, dan sering mengandung unsur ketidakpastian. Kebenaran ini disebut kebenaran fuzzy.

Dengan mengatakan udara cerah bukan berarti bahwa tidak ada sedikitpun awan dilangit. Akan tetapi kitapun tidak bisa mengatakan bahwa udara cerah pada saat langit tertutup awan lebih dari 50 persen. Adalah wajar jika dikatakan bahwa udara cerah pada saat awan menutupi langit sekitar 10 atau 20 persen. Masalahnya adalah bagaimana batas pemisah harus ditarik. Jika batas pemisah tersebut berada pada 25 persen, apakah berarti 26 persen sudah tidak lagi cerah ?. Hal ini tidak bisa diterima oleh akal sehat, karena perbedaan persen praktis tak nampak. Kita dapat menambahkan kualifikasi bahwa satu persen perbedaan (kurang atau lain) masih dipandang sebagai cerah. Akan tetapi definisi ini pada akhirnya akan membawa kita untuk menerima semua tingkatan jumlah awan sebagai cerah, terlepas dari bagaimana cuaca itu sebenarnya. Untuk membatasi kontradiksi ini, istilah cerah dapat disertai oleh *vagueness* (ketidakjelasan) dengan memberikan perubahan transisi secara bertahap pada derajat jumlah awan dari keadaan cerah menjadi keadaan tidak cerah. Hal inilah yang melahirkan konsep himpunan fuzzy, yang dicetuskan oleh L.A Zadeh [7].

Logika fuzzy didasarkan pada bentuk aturan " *if...then* " yang mengkonversikan input ke output, dimana satu himpunan fuzzy akan termasuk ke himpunan fuzzy lainnya. Pada prinsipnya himpunan fuzzy tidak lain adalah perluasan himpunan Crisp, yaitu himpunan yang membagi sekelompok individu kedalam dua kategori, yaitu anggota dan bukan anggota, dengan nilai keanggotaannya terletak antara 0 dan 1. Banyak himpunan yang justru lebih cenderung mengikuti karakteristik himpunan fuzzy, misalnya mobil mahal, rumah mewah dan sebagainya.

Algoritma kontrol berbasis teori himpunan fuzzy merupakan topik yang telah banyak memberikan hasil selama tahun-tahun terakhir ini. Karakteristik yang paling menarik dari sistem kontrol fuzzy ini adalah kemampuannya untuk mengemulasi perilaku manusia (sebagai operator), yang lebih mendasarkan pada kriteria kualitatif ketimbang yang kuantitatif, dan tidak memerlukan model matematis sistem yang rumit. Untuk mengenal teori himpunan fuzzy pertama-tama kita tinjau kembali teori himpunan klasik (*crisp*) [5, 3].

2.1. HIMPUNAN KLASIK (CRISP)

Himpunan klasik (*crisp set*) didefinisikan sebagai kumpulan elemen-elemen atau objek-objek (diskrit atau kontinu) $x \in X$ tiap elemen dapat merupakan anggota atau bukan anggota dari sebuah himpunan A , dimana $A \subset X$ (A merupakan himpunan bagian dari X).

Dengan mendefinisikan fungsi karakteristik x (atau fungsi keanggotaan) untuk sebuah himpunan dimana 1 menunjukkan anggota dan 0 bukan anggota,

himpunan klasik dapat dinyatakan dengan himpunan pasangan berurutan $(x,0)$, atau $(x,1)$. Penilaian biner fungsi karakteristik (fungsi keanggotaan) $\mu_A(x)$ dapat digunakan untuk menyatakan keadaan objek x ($x \in X$), anggota himpunan A atau tidak [5].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases}$$

2.1.1. OPERASI-OPERASI HIMPUNAN KLASIK

Jika A dan B adalah himpunan pada semesta X . Gabungan dua himpunan tersebut dinyatakan dengan $A \cup B$, yang menyatakan semua anggota-anggota dari semesta tersebut yang merupakan anggota himpunan A atau himpunan B atau kedua himpunan A dan B . Irisan dari kedua himpunan, dinyatakan sebagai $A \cap B$ yang menyatakan semua anggota pada semesta X yang merupakan anggota kedua himpunan A dan B atau merupakan anggota himpunan A dan juga sebagai anggota B . Komplemen himpunan A dinyatakan \bar{A} , yang mendefenisikan sebagai kumpulan dari semua anggota pada semesta X yang bukan anggota himpunan A . Operasi-operasi himpunan tersebut dapat ditunjukkan dibawah ini, yaitu [5, 6]:

Gabungan : $A \cup B = \{x | x \in A \text{ atau } x \in B\}$

Irisan : $A \cap B = \{x | x \in A \text{ dan } x \in B\}$

Komplemen : $\bar{A} = \{x | x \notin A, x \in X\}$

2.1.2. SIFAT-SIFAT HIMPUNAN KLASIK (CRISP)

Sifat-sifat tertentu dari himpunan penting untuk diperhatikan karena hal tersebut berpengaruh pada manipulasi himpunan secara matematis. Sifat-sifat yang paling sesuai untuk digunakan dalam mendefenisikan himpunan klasik, yang dapat memperlihatkan kemiripan dengan himpunan fuzzy adalah [6] :

<i>Komutatif</i>	:	$A \cup B = B \cup A$ $A \cap B = B \cap A$
<i>Assosiatif</i>	:	$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$ $A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$
<i>Distributif</i>	:	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
<i>Idempotensi</i>	:	$A \cup A = A$ $A \cap A = A$
<i>Identitas</i>	:	$A \cap \emptyset = \emptyset$ $A \cap X = A$
<i>Penyerapan</i>	:	$A \cup (A \cap B) = A$ $A \cap (A \cup B) = A$
<i>Penyerapan Komplemen</i>	:	$A \cup (\bar{A} \cap B) = A \cup B$ $A \cap (\bar{A} \cup B) = A \cap B$
<i>Penyerapan Oleh X dan \emptyset</i>	:	$A \cup X = X$ $A \cap \emptyset = \emptyset$
<i>Hukum Kontradiksi</i>	:	$A \cap \bar{A} = \emptyset$

$$\text{Hukum Excluded Middle} \quad : \quad A \cup \bar{A} = X$$

$$\text{Hukum DeMorgan's} \quad : \quad A \cap B = \overline{A \cup B}$$

$$A \cup B = \overline{A \cap B}$$

$$\text{Transitif} \quad : \quad \text{Jika } A \subseteq B \subseteq C, \text{ maka } A \subseteq C$$

$$\text{Involusi} \quad : \quad \overline{\overline{A}} = A$$

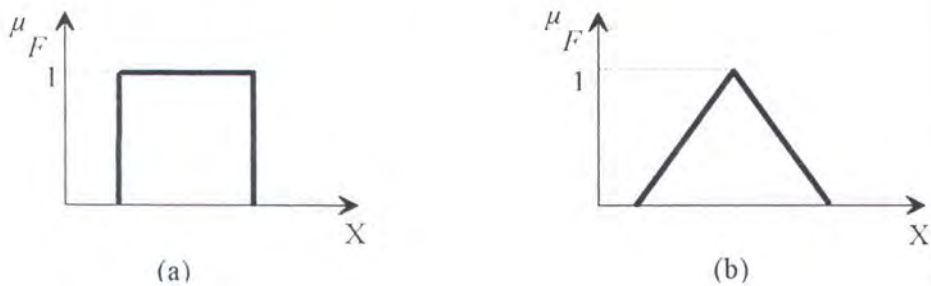
2.2. HIMPUNAN FUZZY

Dalam mengontrol plant/proses, seorang operator tidak terlalu peduli dengan nilai numerik. Besaran pengukuran biasanya hanya digambarkan sebagai cepat, besar, lambat, tinggi dan sebagainya. Untuk merepresentasikan yang tak eksak ini diperlukan suatu pendekatan, yaitu melalui himpunan fuzzy [5].

Suatu himpunan fuzzy terdiri atas elemen-elemen yang mempunyai derajat keanggotaan μ . Suatu elemen x dalam himpunan bagian fuzzy F mempunyai derajat keanggotaan $\mu_F(x)$ yang terletak antara 0 dan 1. Jika $\mu_F(x) = 1$, maka x adalah anggota himpunan F . Jika $\mu_F(x) = 0$ maka x bukan anggota F . Jika $\mu_F(x) = \mu$, dengan $0 < \mu < 1$ maka dikatakan anggota F dengan derajat keanggotaan μ . Dalam merujuk himpunan bagian fuzzy ini sering digunakan besaran non numerik, misalkan besar, medium, kecil dan sebagainya. Suatu elemen x selain memiliki derajat keanggotaan terhadap himpunan bagian fuzzy F juga bisa memiliki derajat keanggotaan terhadap himpunan bagian fuzzy lain (misal G). Derajat keanggotaan suatu elemen x dalam suatu himpunan bagian fuzzy dihitung

melalui fungsi distribusi, yang bisa didefinisikan menurut keperluan. Jenis-jenis fungsi distribusi yang populer adalah segitiga, trapesium, eksponensial.

Bentuk fungsi keanggotaan dari himpunan fuzzy dapat berupa segitiga, trapesium, fungsi dan lain sebagainya. Perbandingan bentuk fungsi keanggotaan himpunan crisp dan fuzzy dapat diperlihatkan pada gambar 2.1. [6].



Gambar 2.1. Perbandingan bentuk fungsi keanggotaan F : (a) crisp; (b) fuzzy

2.2.1. DEFENISI DAN OPERASI DASAR HIMPUNAN FUZZY

Suatu himpunan fuzzy F dalam semesta X didefinisikan sebagai kumpulan pasangan elemen x dan fungsi keanggotaan $\mu_F(x)$. Fungsi keanggotaan $\mu_F(x)$ mempunyai nilai dalam interval $[0,1]$ pada tiap x dalam X .

Nilai fungsi keanggotaan menunjukkan tingkat keanggotaan elemen x dalam F , bila $\mu_F(x) = 1$ menunjukkan x merupakan anggota penuh F , sedang $\mu_F(x) = 0$, menunjukkan x bukan anggota F .

Secara umum himpunan fuzzy dinotasikan sebagai [5] :

$$F = \{x, \mu_F(x) \mid x \in X\} \quad (2-1)$$

Bila x diskrit dengan n elemen, F dapat dinyatakan sebagai :

$$F = \mu_1(x)/x_1 + \mu_2(x)/x_2 + \dots + \mu_n(x)/x_n$$

$$F = \sum_{i=1}^n \mu_F(x_i)/x_i \quad (2-2)$$

Bila x kontinyu, F dapat dinyatakan sebagai :

$$F = \int_x \mu_F(x)/x \quad (2-3)$$

Dalam himpunan fuzzy F , x disebut pendukung (support) F . Untuk elemen x dimana $\mu_F(x) = 0,5$ disebut titik silang (cross-over). Himpunan Fuzzy yang mempunyai pendukung tunggal dengan $\mu_F(x) = 1$, disebut fuzzy tunggal. Misalkan A dan B adalah himpunan fuzzy dalam semesta X dengan fungsi keanggotaan $\mu_A(x)$ dan $\mu_B(x)$. Beberapa operasi dasar dari himpunan Fuzzy yang sering dipergunakan adalah sebagai berikut :

1. Gabungan Fuzzy (*union*)

Jika C adalah gabungan dari A dan B atau $C = A \cup B$, masing-masing mempunyai fungsi keanggotaan $\mu_A(x)$ dan $\mu_B(x)$, maka fungsi keanggotaan himpunan fuzzy C adalah :

$$\mu_C(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad (2-4)$$

atau

$$\mu_C(x) = \mu_A(x) \cup \mu_B(x) \quad (2-5)$$

2. Irisan Fuzzy (*Intersection*)

Jika C adalah irisan dari A dan B atau $C = A \cap B$, yang masing-masing mempunyai fungsi keanggotaan himpunan fuzzy C adalah :

$$\mu_C(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad (2-6)$$

atau

$$\mu_C(x) = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) \quad (2-7)$$

3. Komplemen Fuzzy

Fungsi keanggotaan dari komplemen himpunan fuzzy A adalah :

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2-8)$$

4. Himpunan Bagian Fuzzy

Himpunan fuzzy A adalah himpunan bagian fuzzy B, jika dan hanya jika :

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad (2-9)$$

atau

$$A \subset B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad (2-10)$$

5. Perkalian Aljabar

Perkalian aljabar himpunan A dan B atau A.B, adalah :

$$\mu_{AB}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x), x \in X \quad (2-11)$$

6. Penjumlahan Aljabar

Penjumlahan aljabar himpunan A dan B atau $A \oplus B$ adalah :

$$\mu_{A \oplus B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x), x \in X \quad (2-12)$$

7. Konveksitas (*Convexity*)

Himpunan fuzzy A konveks jika dan hanya jika :

$$\mu_A\{ \lambda x_1 + (1 - \lambda) x_2 \} \geq \min \{ \mu_A(x_1), \mu_A(x_2) \} \quad (2.13)$$

untuk semua x_1, x_2 dalam U dan semua λ dalam interval $[0,1]$.

8. Kombinasi Konveks

Jika $A_1 \dots A_n$ adalah himpunan-himpunan fuzzy dari U , dan $W_1 \dots W_n$ adalah bobot non negatif, maka kombinasi konveks dari $A_1 \dots A_n$ adalah himpunan fuzzy A yang mempunyai fungsi keanggotaan :

$$\mu_A(x) = w_1\mu_{A_1}(x) + \dots + w_n\mu_{A_n}(x) \quad (2-14)$$

dengan '+' menyatakan jumlah rata-rata aritmatika. Konsep dari kombinasi konveks digunakan untuk pernyataan linguistik yang dibatasi secara esensial, typical dan kemiripannya, yang memodifikasi gabungan-gabungan bobot-bobot dengan komponen himpunan fuzzy.

9. Produk Kartesian (*Cartesian Product*)

Jika $A_1 \dots A_n$ adalah himpunan-himpunan fuzzy dalam semesta pembicaraan $X_1 \dots X_n$, maka produk kartesian dari $A_1 \dots A_n$ adalah himpunan fuzzy dalam ruang produk $X_1 \dots X_n$ dengan fungsi keanggotaan yang didefenisikan sebagai :

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(x_1, \dots, x_n) = \min \{ \mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n) \} \quad (2-15)$$

atau sebagai operasi produk yaitu :

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(x_1, \dots, x_n) = \mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n) \quad (2-16)$$

dengan . menyatakan produk aljabar biasa.

10. Komposisi Sup-Star

Jika R dan S adalah relasi-relasi fuzzy dalam ruang Cartesian $X \times Y$ dan $Y \times Z$ berturut-turut, komposisi R dan S adalah sebuah relasi fuzzy yang dinyatakan oleh $R \circ S$ dan didefenisikan sebagai :

$$R \circ S = \{(x,z), \sup \mu_R(x,y) * \mu_S(y,z), x \in X, y \in Y, z \in Z\} \quad (2-17)$$

dimana notasi ' * ' dapat sebagai operator dalam kelas dari bentuk segitiga, minimum, produk aljabar, produk terbatas atau produk cepat.

11. Aturan Inferensi Komposisi Sup-Star

Jika R adalah relasi fuzzy dalam X maka aturan inferensi komposisi sup-star menyatakan bahwa himpunan fuzzy y dalam Y diberikan oleh $y = x \circ R$ dimana $x \circ R$ adalah komposisi sup-star x dan R .

2.2.2. FUNGSI KEANGGOTAAN FUZZY

Dalam banyak hal fungsi keanggotaan fuzzy sangat membantu dan perlu untuk menyatakan fungsi keanggotaan fuzzy dalam bentuk standard. Untuk menyatakan suatu fungsi keanggotaan dalam pendefinisian himpunan fuzzy tergantung pada bentuk yang akan digunakan. Secara umum ada dua metode yaitu pendefinisian secara numerik dan bentuk fungsi.

- Defenisi Secara Numerik

Fungsi keanggotaan yang didefenisikan secara numerik menggunakan pendukung diskrit. Selain itu dapat juga menggunakan nilai keanggotaan dari bentuk fungsi yaitu dengan mengambil nilai bentuk fungsi untuk tiap pendukung x yang berhingga jumlahnya. Contoh : $x = \{8,9,10,11,12\}$, $\mu_F(x) = \{0.5; 0.8; 1.0; 0.8; 0.5\}$, maka himpunan fuzzy didefenisikan untuk himpunan elemen x diatas adalah : $F = \{0.5/8; 0.8/9; 1.0/10; 0.8/11; 0.5/12\}$

- Defenisi Bentuk Fungsi

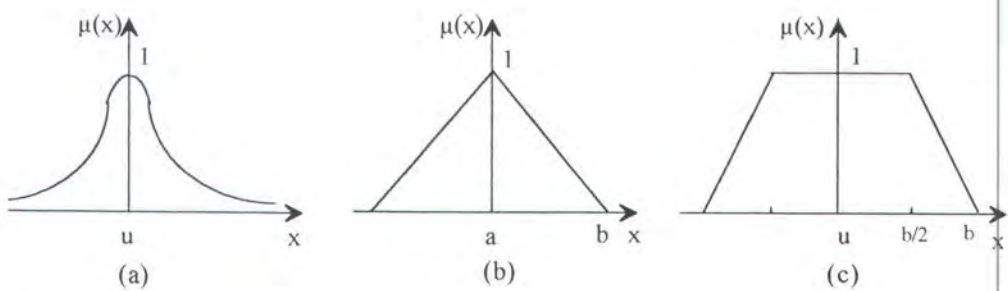
Fungsi keanggotaan yang didefenisikan dalam bentuk fungsi digunakan pada pendukung kontinyu, ada beberapa fungsi yang dapat digunakan dalam himpunan fuzzy, bentuk fungsi yang sering digunakan adalah

- Fungsi Eksponensial $\mu_F(x) = \exp \left\{ -\frac{(x-u)}{2\sigma^2} \right\}$ (2-18)

- Fungsi Segitiga $\mu_F(x) = 1 - \frac{\sqrt{(x-a)^2}}{b}$ (2-19)

- Fungsi Trapesium
$$\mu_F(x) = \begin{cases} 1 ; 0 \leq (x-a) \leq \frac{b}{2} \\ 2 - 2\frac{\sqrt{(x-a)^2}}{b} ; \frac{b}{2} < (x-a) \leq b \end{cases}$$
 (2-20)

Gambar dari bentuk fungsi diatas ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bentuk fungsi keanggotaan (a) eksponensial, (b) segitiga, dan (c) trapesium

2.3. VARIABEL LINGUISTIK

Pendekatan dengan himpunan fuzzy untuk merepresentasikan cara berpikir manusia memerlukan variabel linguistik sebagai ganti dari variabel numerik yang bisa digunakan dalam pendekatan kuantitatif. Variabel linguistik ini berupa ungkapan-ungkapan yang bersifat kualitatif dan berfungsi untuk menyatakan himpunan fuzzy. Dalam berfikir manusia menggunakan ungkapan yang bersifat kualitatif terhadap informasi-informasi yang diinderanya.

Ungkapan-ungkapan kualitatif ini terus menyertai proses berfikir manusia sampai diperoleh pengambilan keputusan yang diungkapkan secara kualitatif juga. Sebagai contoh, seorang operator yang tengah mengatur suatu proses secara manual akan menggunakan ungkapan-ungkapan seperti sangat tinggi, agak rendah, sedang, mendekati maksimum, sekitar set point dan sebagainya. Ungkapan ini mendefinisikan himpunan-himpunan fuzzy atas besaran-besaran proses yang sedang diolah dalam fikirannya.

Dalam bentuk sederhana variabel linguistik dapat dinyatakan dengan pasangan $(u, T(u), X)$, dengan u menunjukkan nama variabel dan $T(u)$ merupakan istilah yang menyatakan himpunan a yaitu seperangkat nama-nama nilai linguistik himpunan fuzzy atas semesta X . Sebagai contoh, misalkan variabel level akan dinyatakan dengan variabel linguistik, maka seperangkat istilah $T(\text{level})$ dapat dituliskan :

$$T(\text{level}) = \{ \text{rendah}, \text{sedang} \}$$

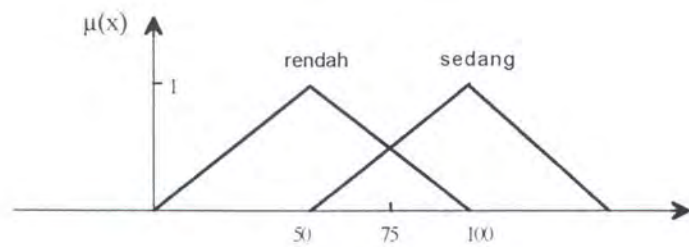
Misalkan variabel linguistik didefinisikan untuk semesta $X = [0, 150]$. Dalam semesta ini, rendah terletak disekitar 50 mm dan sedang disekitar 100 mm, bila

fungsi segitiga digunakan untuk mendefenisikan secara fungsional kedua himpunan ini maka cara menyatakannya :

$$\text{rendah} : \mu_F(x) = 1 - \frac{\sqrt{(x-50)}}{b}$$

$$\text{sedang} : \mu_F(x) = 1 - \frac{\sqrt{(x-100)}}{b}$$

dimana $x \in X$. Harga b dipilih sedemikian rupa sehingga titik silang (Cross-over) terletak dititik $x = 75$ mm, yaitu pendukung dengan nilai keanggotaan $\mu(75) = 0,5$



Gambar 2.3. Penafsiran grafis variabel linguistik

baik pada himpunan rendah maupun sedang. Penafsiran secara grafis semua pendefenisian ditunjukkan Gambar 2.3.

Gambar tersebut memberikan penafsiran bahwa nilai keanggotaan untuk suatu titik semakin besar bila titik tersebut berada disekitar titik 50 dan 100. Sedangkan contoh titik 55 mempunyai nilai keanggotaan yang mendekati 1 pada himpunan rendah, yang berarti titik ini mempunyai nilai kebenaran yang kuat untuk menjadi anggota himpunan rendah, sebaliknya karena mempunyai nilai keanggotaan yang kecil pada himpunan sedang maka titik ini mempunyai nilai kebenaran yang lemah untuk menjadi anggota himpunan sedang, sedangkan untuk

titik 75 mempunyai nilai kebenaran yang sama untuk menjadi anggota rendah maupun sedang.

2.4. PENGATUR LOGIKA FUZZY

Perancangan Pengatur Logika Fuzzy (*Fuzzy Logic Controller*) atau PLF menggabungkan aspek pendefenisian himpunan fuzzy dengan aspek logika fuzzy untuk memperoleh suatu kontroler yang dapat merepresentasikan cara kerja operator manusia. Dengan prosedur perancangan tertentu kedua aspek diterapkan pada masukan dan keluaran untuk membentuk hasil perancangan yang berbentuk suatu algoritma aturan fuzzy. Perancangan PLF selama ini tidak mempunyai prosedur yang baku. Hal ini disebabkan oleh fleksibilitas PLF terhadap berbagai macam plant.

2.4.1. STUKTUR DASAR PLF

Secara umum PLF mempunyai empat bagian pokok seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.4. Stuktur dasar Pengatur Logika Fuzzy mempunyai empat bagian blok, keempat blok tersebut mempunyai fungsi sebagai berikut [4]:

1. Fuzzifier berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat Crisp (bukan fuzzy) ke himpunan fuzzy dengan menggunakan operator fuzzifier.
2. Basis pengetahuan berisi basis data dan aturan dasar yang mendefenisikan himpunan fuzzy atas daerah-daerah masukan dan keluaran dan menyusunnya dalam perangkat aturan kontrol.

3. Logika Pengambil Kesimpulan merupakan inti dari PLF yang mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil kesimpulan. Aksi atur fuzzy disimpulkan dengan menggunakan implikasi fuzzy mekanisme inferensi fuzzy.
4. Defuzzifier berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi atur yang bersifat Crisp dengan menggunakan operator defuzzifier.



Gambar 2.4. Blok diagram Pengatur Logika Fuzzy

2.4.2. FUZZIFIKASI

Dalam penerapan suatu sistem pengaturan, besaran masukan yang diperoleh dari plant melalui sensor akan selalu berupa crisp yang bersifat pasti dan kuantitatif, sedangkan pengolahan data dalam PLF didasarkan pada teori himpunan fuzzy yang menggunakan variabel linguistik yang bersifat fuzzy. Oleh karenanya pada tahap awal PLF diperlukan adanya fuzzifikasi yang dilakukan oleh fuzzifier. Fuzzifikasi sekaligus dapat dikatakan sebagai pemetaan masukan ke semesta himpunan fuzzy. Secara simbolis pemetaan ini dinyatakan dalam $X = \text{fuzzifier}(X_o)$, X_o adalah masukan crisp, x adalah himpunan fuzzy dan fuzzifier merupakan operator fuzzifikasi.

Metode yang sering dipakai adalah dengan memperlakukan masukan crisp yang diperoleh sebagai suatu fuzzy tunggal (*fuzzy singleton*). Ini berarti x_0 dianggap sebagai himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan $\mu(x) = 0$ kecuali pada titik x_0 yang nilai keanggotaannya $\mu(x_0) = 1$ kecuali pada titik $x_0 = 1$, secara mendasar fuzzy tunggal adalah suatu nilai yang pasti yang bersifat bukan fuzzy. Jadi jelas dalam hal ini tidak ada ke fuzzy-an dalam data yang dihasilkan.

2.4.3. Basis Data

Basis data berfungsi untuk mendefinisikan himpunan-himpunan fuzzy dari sinyal masukan dan sinyal keluaran agar dapat digunakan oleh variabel linguistik dalam aturan dasar. Perancangan basis data meliputi tiga pokok, yaitu :

1. Kuantisasi dan normalisasi
2. Pembagian ruang masukan dan keluaran
3. Pemilihan fungsi keanggotaan

2.4.3.1. Kuantisasi Dan Normalisasi

Kuantisasi berarti mendiskritkan semesta pembicaraan yang kontinu kedalam sejumlah segmen-segmen tertentu yang disebut level kuantisasi. Pemberian nomor atau label level-level ini membentuk pendukung himpunan fuzzy secara berhingga atau semesta pembicaraan baru yang bersifat diskrit. Prosedur ini diperlukan bila pendefinisian fungsi keanggotaannya dinyatakan secara numerik. Pendefinisian ini biasanya dinyatakan dalam bentuk tabulasi, yang penerapannya berbentuk suatu tabel pandang (*look-up tabel*).

Tabel tersebut mendefenisikan secara numerik misalnya dengan pembagian ruang sebanyak 5 variabel linguistik yaitu : NB (Negatif Besar), NK (Negatif Kecil), NL (Nol), PK (Positif Kecil), dan PB (positif Besar).

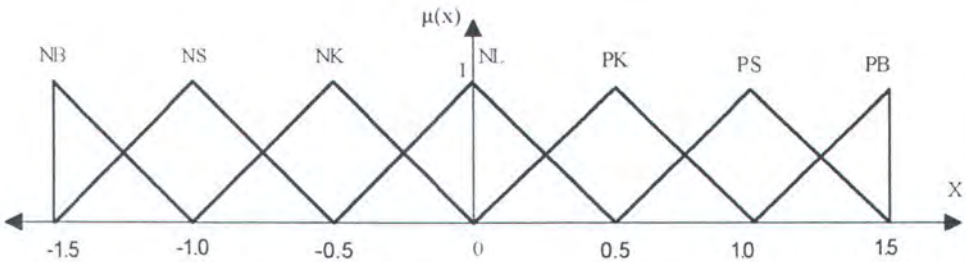
Pemilihan jumlah level kuantisasi (penyokong) mempengaruhi kepekaan PLF terhadap masukan dan kehalusan aksi atur pada keluaran. Semakin banyak level kuantisasi yang diaplikasikan pada semesta pembicaraan masukan dan keluaran maka semakin peka PLF tersebut dan semakin halus aksi aturnya. Tetapi karena tabel pandang menggunakan sejumlah memori pada komputer maka dalam menentukan jumlah level harus ada kompromi dengan aspek penghematan memori.

Normalisasi diperlukan bila diinginkan semesta pembicaraan yang terbatas pada jangkauan tertentu, misal dari -1 sampai 1. Jadi normalisasi merupakan pemetaan semesta pembicaraan masukan ke semesta pembicaraan baru yang terbatas. Skala pemetaan bisa seragam (uniform) atau tidak seragam (non-uniform) tergantung kebutuhan perancangannya. Normalisasi juga diperlukan bila fungsi keanggotaannya didefenisikan secara fungsional. Tabel 2.1 menunjukkan contoh normalisasi dari semesta pembicaraan $[-8,6]$ ke interval yang sudah dinormalisasi $[-1,1]$ dan pendefenisianya dengan fungsi segitiga $\mu(x) = 1 - \sqrt{(x-a)^2}/b$.

Tafsirannya secara grafis diperlihatkan pada gambar 2.5, yang menunjukkan bahwa normalisasi menghasilkan semesta pembicaraan yang simetris. Jika tidak dinormalisasi maka semesta pembicaraannya akan menjadi asimetris dan pembagiannya tidak merata.

Tabel 2.1. Contoh Normalisasi Himpunan Fuzzy pada segmen tertentu

Segmen	Segmen Ternormalisasi	b	u	Himpunan Fuzzy
[-8,-4]	[-1.5,-1.0]	0.5	-1.5	NB
[-6,-2]	[-1.5,-0.5]	0.5	-1	NS
[-4,0]	[-1.0,0.0]	0.5	-0.5	NK
[-2,2]	[-0.5,0.5]	0.5	0	NL
[0,4]	[0.0,1.0]	0.5	0.5	PK
[2,6]	[0.5,1.5]	0.5	1	PS
[4,6]	[1.0,1.5]	0.5	1.5	PB



Gambar 2.5. Penafsiran grafis dari tabel 2.1. yang telah dinormalisasi

2.4.3.2. Pembagian Ruang Masukan Dan Keluaran

Pendefenisian himpunan fuzzy atas ruang masukan dan keluaran berarti pula membagi-bagi semesta pembicaraan atas nilai-nilai variabel linguistik seperti Negatif Besar (NB), Negatif Kecil (NK), Nol (NL), Positif Kecil (PK), Positif Sedang (PS), Positif Besar (PB), dan sebagainya. Pembagian ruang masukan dan keluaran ini menentukan berapa banyak jumlah himpunan ini juga menentukan kehalusan Pengatur Logika Fuzzy (PLF). Contoh pada tabel 2.1 dan gambar 2.5 menunjukkan pembagian ruang dengan 7 himpunan fuzzy [3].

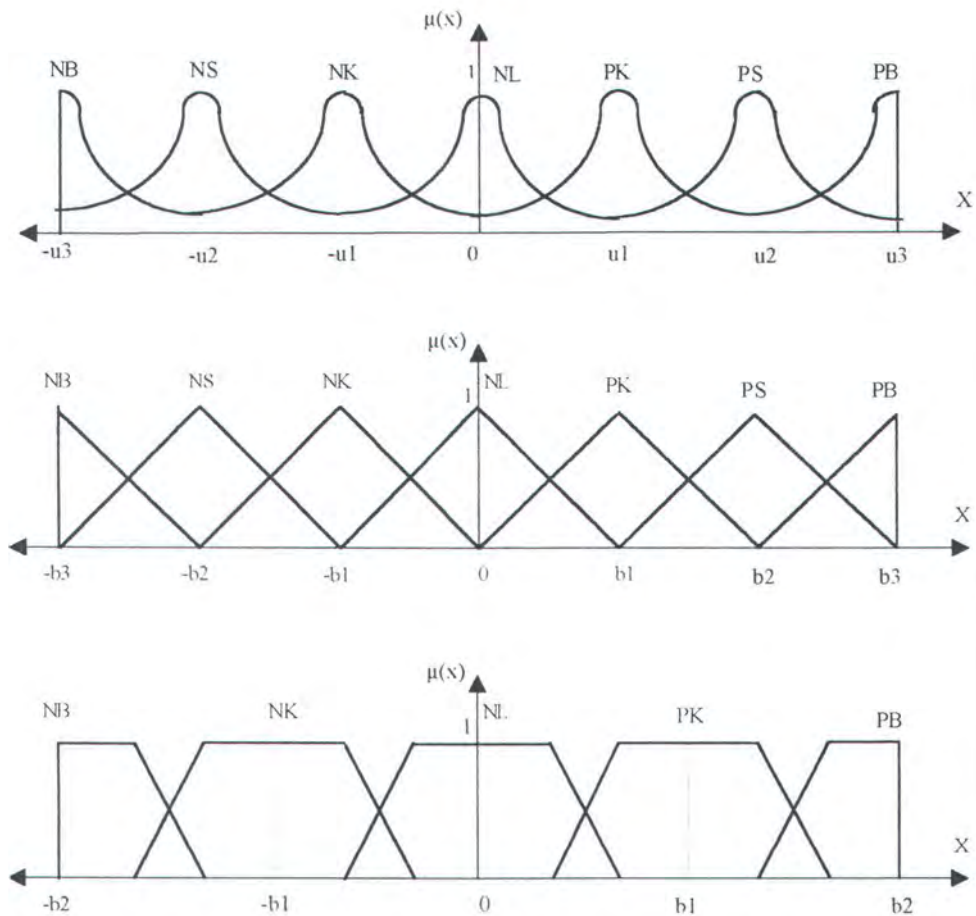
2.4.3.3 Pemilihan Fungsi Keanggotaan

Pada pendefenisian secara numerik tingkat keanggotaan penyokong dalam himpunan fuzzy dinyatakan dalam bentuk tabulasi seperti yang dicontohkan pada Tabel 2.1. Pembagian ruang dilakukan dengan 7 nilai linguistik himpunan fuzzy yaitu Negatif Besar (NB), Negatif Sedang (NS), Negatif Kecil (NK), Nol (NL), Positif Kecil (PK), Positif Sedang (PS), dan Positif Besar (PB) dengan fungsi keanggotaan adalah segitiga.

Fungsi keanggotaan dapat dipilih secara bebas dengan menentukan secara sembarang nilai keanggotaannya. Tetapi pada dasarnya penentuan ini harus tetap dapat menggambarkan karakteristik masing-masing himpunan fuzzy. Fungsi yang sering digunakan adalah fungsi eksponen (π), fungsi segitiga, dan fungsi trapesium karena mudah dimanipulasi secara matematis.

Pada pendefenisian secara fungsional tidak diperlukan pemberian nomor level kuantisasi karena dalam hal ini tidak diperlukan penyokong yang diskrit. Pembagian ruang biasanya cukup dengan menentukan titik sumbu simetri dan sebaran (jangkauan) fungsi yang digunakan. Fungsi ini mudah diadaptasi terhadap keadaan semesta pembicaraan dengan cara mengatur parameter rataan yang menentukan titik kerja dan parameter sebaran yang menentukan jangkauan kerja.

Parameter rataan (u dan a) dan parameter sebaran (b dan s) dapat dipilih secara sembarang, tetapi dengan pertimbangan perancangan yang layak. Dalam hal paramater, sebaran seragam biasanya sebaran dipilih sedemikian rupa sehingga titik silang (cross-over) terletak ditengah-tengah dua rataan himpunan



Gambar 2.6. Contoh penggunaan fungsi-fungsi keanggotaan fuzzy

yang bersebelahan. Contoh penggunaan fungsi eksponen (π), fungsi segitiga, dan fungsi trapesium dapat dilihat pada gambar 2.6. [5].

2.5. ATURAN DASAR

Sistem fuzzy dikarakteristikan oleh istilah-istilah linguistik yang didasarkan pada pengetahuan pakar dan biasanya berbentuk aturan jika maka (*if-then*) [18], yang disebut aturan kontrol fuzzy. Hal ini untuk mempermudah implementasi bentuk kondisional fuzzy. Seperangkat aturan

kontrol fuzzy merupakan penjabaran dari bentuk-bentuk kondisional fuzzy dalam aturan dasar pada PLF. Perancangan aturan kontrol meliputi :

1. Pemilihan variabel masukan dan keluaran
2. Penurunan aturan kontrol fuzzy

2.5.1. Pemilihan Variabel Masukan Dan Keluaran

Pemilihan variabel masukan dan keluaran memberi pengaruh kuat pada karakteristik kontroler. Dalam hal ini pengetahuan dan pengalaman kerekayasaannya memainkan peranan yang sangat penting. Pemilihan variabel ini memerlukan pemahaman tentang perilaku plant dan perilaku pengaturnya.

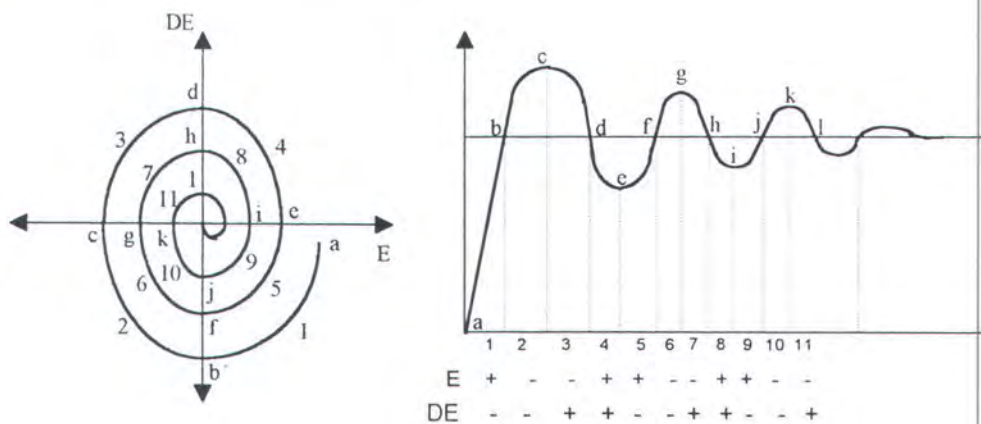
Secara umum sebagaimana kontroler konvensional, error dan perubahan error dari plant tetap menjadi acuan utama bagi aturan kontrol PLF untuk menghasilkan sinyal atur. PLF biasanya menggunakan variabel masukan berupa error dan perilaku error seperti perubahan error, turunan error, penjumlahan error, percepatan error dan sebagainya, sedangkan keluaran atau aksi aturnya berupa sinyal atur atau perubahan sinyal atur.

2.5.2. Penurunan Aturan Kontrol-Kontrol Fuzzy

Salah satu cara menurunkan aturan kontrol-kontrol fuzzy adalah dengan mengumpulkan aturan-aturan kontrol yang dibentuk dari analisa perilaku objek atur secara heuristik. Aturan kontrol diturunkan dengan jalan mengoreksi simpangan keluaran plant dari keadaan yang diinginkan. Penurunan benar-benar dilakukan dengan secara heuristik dengan mengandalkan pengetahuan kualitatif. Hasil yang diperoleh akan berupa prototipe aturan kontrol secara garis besar, sehingga hasilnya masih perlu disempurnakan.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyempurnakan prototipe aturan kontrol itu. King dan Mamdani, mengusulkan metode penyempurnaan aturan kontrol dengan cara yang disebut Pemetaan Skala (*Scale Mappings*). Prinsipnya adalah menentukan sinyal atur sedemikian rupa sehingga trayektori sistem loop tertutup berakhir di keadaan yang diinginkan. Dalam hal ini pengetahuan tentang perilaku peralihan plant, seperti lewatan, waktu naik dan sebagainya, serta intuisi tentang perilaku sistem tertutup diperlukan.

Gambar 2.7 menunjukkan tanggapan plant loop tertutup terhadap variabel masukan plant, yaitu error (e) dan perubahan error (Δe). Untuk memperjelas trayektori dapat digunakan grafik yang menyatakan hubungan antara error (e) dan perubahan error (Δe), sedangkan variabel keluaran PLF berupa perubahan sinyal atur (Δu) atau sinyal atur (u). Sedangkan variabel keluaran PLF berupa perubahan sinyal atur (Δu) atau sinyal atur u [3, 18].



Gambar 2.7. Tanggapan sistem loop tertutup

Pada penurunan prototipe ini pembagian ruang masukan adalah 3, yang berarti ada 3 nilai linguistik yaitu positif (P), negatif (N) dan Nol (NL). Peninjauan kualitatif pertitik (bertanda huruf) pada grafik memberikan penalaran yang menghasilkan prototipe aturan kontrol pada tabel 2.2.[4].

Tabel 2.2. *Prototipe aturan kontrol linguistik dengan 3 nilai*

Aturan No.	e	Δe	u	Titik referensi
1	P	NL	P	a,e,i
2	NL	N	N	b,f,j
3	N	NL	N	c,g,k
4	NL	P	P	d,h,l
5	NL	NL	NL	set point

Sedangkan peninjauan secara kualitatif per daerah (bertanda angka) pada grafik tanggapan maupun pada bidang fasa menunjukkan bahwa daerah 1 mempunyai pengaruh pada pemendekan waktu naik (*rise time*), dan daerah 2 berhubungan dengan pengurangan lewatan (*overshoot*), secara heuristik penalaran ini memberikan penambahan atau penyempurnaan aturan kontrol seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. *Penyempurnaan aturan kontrol dengan 3 nilai*

Aturan No.	e	Δe	u	Titik referensi
6	P	N	P	1(rise time),5
7	N	N	N	2(over shoot),6
8	N	P	N	3,7
9	P	P	P	4,8
10	P	N	NL	9
11	N	P	NL	10

Kinerja yang lebih baik dapat diperoleh dengan pembagian ruang yang lebih banyak, misalnya 7 nilai yaitu NB, NS, NK, NL, PK, PS dan PB. Pembagian ruang dengan 7 nilai sering digunakan pada perancangan KLF, karena pembagian ruang tersebut tidak dapat mewakili ruang keseluruhan dan didapat hasil yang baik. Prototipe dan penyempurnaan berturut-turut ditunjukkan oleh tabel 2.4 dan 2.5. Secara langsung pembagian ruang masukan mempengaruhi jumlah aturan kontrol yang dihasilkan. Pada sistem MISO (Multi Input Single Output), jumlah aturan kontrol yang dihasilkan adalah 7×7 aturan kontrol [4].

Tabel 2.4. Prototipe aturan kontrol dengan 7 nilai

Aturan No.	e	Δe	u	Titik referensi
1	PB	NL	PB	a
2	PS	NL	PS	e
3	PK	NL	PK	i
4	NL	NB	NB	b
5	NL	NS	NS	f
6	NL	NK	NK	j
7	NB	NL	NB	c
8	NS	NL	NS	g
9	NK	NL	NK	k
10	NL	PB	PB	d
11	NL	PS	PS	h
12	NL	PK	PK	l
13	NL	NL	NL	set point

Tabel 2.5. Penyempurnaan aturan kontrol dengan 7 nilai

Aturan No.	e	Δe	u	Titik Referensi
14	PB	NK	PS	1
15	PK	NB	NS	1
16	NB	PS	NS	3
17	NS	PB	PS	3
18	PK	NK	NL	9
19	NK	PK	NL	11

Hasil yang didapat dari penyempurnaan aturan kontrol tersebut dapat dibuat aturan kontrol yang lengkap untuk sistem MISO. Mac Vicar-Whelan yang meneliti masalah penyempurnaan secara lengkap aturan kontrol ini memberikan tabel keputusan sinyal atur yang disebut Tabel Keputusan MacVicar-Whelan. Tabel 2.6 menunjukkan aturan kontrol fuzzy secara lengkap [17].

Tabel 2.6. *Tabel keputusan aturan kontrol Fuzzy MacVicar - Welan*

E R R O R	PERUBAHAN ERROR							
		NB	NS	NK	NL	PK	PS	PB
	NB	NB	NB	NB	NB	NS	NK	NL
	NS	NB	NB	NB	NS	NK	NL	PK
	NK	NB	NB	NS	NK	NL	PK	PS
	NL	NB	NS	NK	NL	PK	PS	PB
	PK	NS	NK	NL	PK	PS	PB	PB
	PS	NK	NL	PK	PS	PB	PB	PB
	PB	NL	PK	PS	PB	PB	PB	PB

Tabel ini memberikan jumlah aturan kontrol secara maksimum. Pola ini berlaku bagi PLF yang menggunakan masukan error dan perubahan error. Modifikasi pada tabel ini untuk memperbaiki kinerja dapat dilakukan pada batas-batas tertentu.

2.6. LOGIKA PENGAMBILAN KESIMPULAN

Ini persoalan dari pengaturan fuzzy terletak pada logika pengambilan keputusannya yang meniru pengambilan keputusan pada manusia. Untuk memahami proses pengambilan kesimpulan dalam fuzzy, pada bagian ini akan

dibahas beberapa konsep logika pengambilan keputusan dalam fuzzy, pada bagian ini akan dibahas beberapa konsep logika pengambilan kesimpulan yang meliputi fungsi-fungsi implikasi fuzzy, penafsiran kata hubung, operator komposional dan mekanisme inferensi.

2.6.1. Aturan Kontrol Fuzzy

Seorang operator yang sedang bekerja secara sadar atau tidak sadar akan menggunakan aturan kontrol yang berupa hubungan jika-maka dalam mengambil keputusan. Aturan kontrol ini dilengkapi dengan variabel-variabel linguistik sehingga terbentuk suatu pernyataan-pernyataan linguistik yang didasarkan pada pengetahuan dan pengalaman tentang objek atur yang akan di aturnya.

Perilaku suatu sistem pengaturan fuzzy didasari oleh seperangkat pernyataan linguistik berbasis pengetahuan yang meniru cara kerja operator ini. Pernyataan-pernyataan ini menggunakan variabel linguistik dari himpunan fuzzy, oleh karenanya disebut pernyataan kondisional fuzzy atau aturan kontrol fuzzy.

Bentuk umum aturan kontrol fuzzy adalah pernyataan jika-maka (*if-then*) dan pernyataan lengkapnya adalah [18] :

$$\text{Jika } (\text{masukan}_i) \text{ maka } (\text{keluaran}_j), i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n \quad (2-21)$$

Masukan dan keluaran merupakan himpunan fuzzy yang dinyatakan dengan variabel linguistik. Masukan merupakan keadaan dari objek atur dan keluaran merupakan tindakan yang harus dilakukan terhadap objek atur sehingga sehubungan dengan keadaan masukan. Dari bentuk aturan kontrol diatas aturan tersebut merupakan bentuk MIMO (Multi Input Multi Output). Untuk sistem MISO (Multi Input Single Output), maka keluaran hanya ada satu. Sistem yang

akan dibahas adalah sistem MISO dengan dua masukan dan satu keluaran yang perangkat aturan kontrolnya berbentuk :

R_1 : Jika x adalah A_1 dan y adalah B_1 maka z adalah C_1

R_2 : Jika x adalah A_2 dan y adalah B_2 maka z adalah C_2

\vdots \vdots \vdots \vdots

R_n : Jika x adalah A_n dan y adalah B_n maka z adalah C_n

dimana x dan y adalah variabel masukan dan z variabel keluaran. A, B, C adalah nilai linguistik dari variabel x, y dan z dalam semesta pembicaraan X, Y dan Z.

2.6.2. Fungsi Implikasi Fuzzy

Aturan kontrol pada dasarnya adalah relasi fuzzy yang dinyatakan sebagai suatu hubungan sebab akibat yang disebut implikasi fuzzy. Aturan kontrol fuzzy bila dinyatakan dengan implikasi fuzzy akan menjadi :

$$\begin{aligned}\mu_{R_1} &\stackrel{\Delta}{=} \mu(A_i \text{ dan } B_i \rightarrow C_i(x, y, z)) \\ &= [\mu_{A_i} \text{ dan } \mu_{B_i(y)}] \rightarrow \mu_{C_i(z)}\end{aligned}\quad (2-22)$$

A_i dan B_i adalah himpunan fuzzy $A_i \times B_i$ dalam $x \times y$, $R_i \stackrel{\Delta}{=} (A_i \text{ dan } B_i) \rightarrow C_i$ adalah implikasi fuzzy dalam $X \times Y \times Z$, dan notasi \rightarrow merupakan fungsi implikasi yang pernah diusulkan oleh para peneliti. Namun dari penelitian yang dilakukan oleh Baldwin dan Pilsworth, kemudian oleh Fukami, Mizumoto dan Tanaka diperoleh bahwa hanya beberapa fungsi yang layak dipilih untuk diterapkan dalam logika pengambilan keputusan pada sistem pengaturan.

Fungsi implikasi dapat didefinisikan sebagai suatu relasi yang menunjukkan suatu keterkaitan antara suatu kejadian sebab dengan kejadian akibat. Semakin cocok hasil pembuktian matematis (secara fuzzy) suatu fungsi implikasi dengan intuisi tentang keterkaitan kejadian diatas maka semakin baik implikasi tersebut.

Salah satu fungsi implikasi yang akan dipakai disini adalah hasil penelitian Mamdani. Fungsi ini disebut fungsi implikasi aturan operasi mini (mini-operation rule) yang dinotasikan dengan R_C :

$$\begin{aligned} R_C &= A \times B \\ &= \int_{X \times Y} \mu_A(x) \times \mu_B(y) | (x, y) | \end{aligned} \quad (2-23)$$

untuk sistem MISO didapat :

$$\begin{aligned} R_C &= (A \times B) \times C \\ &= \int_{X \times Y \times Z} \mu_{A \times B}(x, y) \wedge \mu_C(z) | (x, y, z) | \end{aligned} \quad (2-24)$$

Bentuk $A \times B$ adalah produk kartesian masukan dalam $X \times Y$.

2.6.3. Penafsiran Kata Hubung

Karena tiap-tiap aturan kontrol fuzzy dinyatakan dengan suatu relasi, maka perilaku keseluruhan sistem fuzzy ini ditentukan oleh relasi-relasi fuzzy ini. Dengan kata lain perilaku sistem fuzzy ditentukan oleh relasi tunggal yang merupakan kombinasi seluruh perangkat relasi fuzzy dalam sekumpulan aturan kontrol. Pengkombinasian ini dilakukan oleh kata hubung. Untuk kata hubung dan (and) biasanya digunakan pada produk kartesian yang dilatarbelakangi oleh nilai yang berbeda. Sebagai contoh adalah "jika (A dan B) maka C ", sedangkan kata

hubung juga (also) digunakan pada fungsi implikasi fuzzy dan dapat juga sebagai gabungan dan irisan.

2.6.4. Operator Komposisional

Dalam bentuk umum, operator komposisional ditunjukkan sebagai komposisi sup star, dengan star (*) sebagai operator, yang dipilih untuk suatu penerapan tertentu. Ada banyak operator komposisional yang diusulkan, tetapi menurut para peneliti hanya 4 yang layak dipakai, yaitu :

- operasi sup-min (zadeh, 1973)
- operasi sup-product (Kaufman, 1975)
- operasi sup-bauded-product (Mizumoto, 1981)
- operasi sup-drastic-product (Moizomoto, 1981)

Dalam aplikasi fuzzy, operator sup min dan sup-product yang paling sering dipakai, bila aspek komputasi diperhitungkan. Pemilihan operator akan menentukan hasil kesimpulan, karena setiap operator komposisional mempunyai suatu yang dipentingkan, sehingga akan menjadi perbedaan dalam fungsi implikasi fuzzy. Penggunaannya bersama-sama masukan fuzzy dan fungsi implikasi memberikan persamaan komposisional berikut :

$$B' = A' \circ R$$

dengan R menunjukkan fungsi implikasi, A' sebagai masukan fuzzy dan B' adalah keluaran yang merupakan hasil penyimpulan. Sedang notasi \circ adalah operator komposisional sup-min Zadeh.

Persamaan tersebut berlaku untuk sistem SISO, sedangkan penggunaan operator komposisional untuk sistem MISO adalah : $C' = (A', B') \circ R$

2.6.5. Mekanisme Inferensi

Penyimpulan seperti yang dicontohkan pada operator komposisional diterapkan pada suatu aturan kontrol, sedangkan sistem pengaturan fuzzy terdiri dari seperangkat aturan kontrol. Untuk mengkombinasikan aturan kontrol tersebut digunakan kata hubung juga. Bentuk umum dari relasi kata hubung juga adalah :

masukan : x adalah A' dan y adalah B'

R1 : Jika x adalah A1 dan y adalah B1 maka z adalah C1

juga R2 : Jika x adalah A2 dan y adalah B2 maka z adalah C2

⋮ ⋮ ⋮ ⋮

juga Rn : Jika x adalah An dan y adalah Bn maka z adalah Cn

kesimpulan : z adalah C'

(2-25)

Keseluruhan aturan kontrol ini harus dapat menghasilkan suatu keluaran berupa kesimpulan yang dinyatakan dengan C'. Kesimpulan C' diperoleh dari mekanisme inferensi dengan komposisional sup-star yang didasarkan dari fungsi implikasi fuzzy dan kata hubung "dan" dan "juga".

Ada beberapa lemma penting yang berhubungan dengan mekanisme inferensi, lemma-lemma itu adalah :

$$\text{Lemma 1 : } (A', B') \circ \bigcup_{i=1}^n R_i = (A', B') \circ R_i \quad (2-26)$$

Ri adalah relasi aturan kontrol ke-i

Lemma 2 : Untuk fungsi implikasi operasi-mini Mamdani diperoleh :

$$1. (A', B') \circ (A_i \text{ dan } B_i \rightarrow C_i) = [A' \circ (A_i \rightarrow C_i)] \cap [B' \circ (B_i \rightarrow C_i)] \quad (2.27)$$

$$\text{jika } \mu_{A_i \times B_i} = \mu_{A_i} \wedge \mu_{B_i}$$

$$2. (A', B') \circ (A_i \text{ dan } B_i \rightarrow C_i) = [A' \circ (A_i \rightarrow C_i)] \cdot [B' \circ (B_i \rightarrow C_i)] \quad (2-28)$$

$$\text{jika } \mu_{A_i \times B_i} = \mu_{A_i} \wedge \mu_{B_i}$$

Lemma 3 : Jika masukan berupa fuzzy tunggal $A' = X_o$ dan $B' = Y_o$ diperoleh

$$1. R_C : \alpha_i^{\wedge} \wedge \mu_{C_i}(z), \quad \alpha_i^{\wedge} = \mu_{A_i}(x_o) \wedge \mu_{B_i}(y_o) \quad (2-29)$$

$$2. R_C : \alpha_i^{\bullet} \wedge \mu_{C_i}(z), \quad \alpha_i^{\bullet} = \mu_{A_i}(x_o) \cdot \mu_{B_i}(y_o) \quad (2-30)$$

Lemma 1 menyatakan bahwa keluaran yang disimpulkan dari semua perangkat aturan kontrol sama dengan gabungan semua keluaran tiap-tiap aturan kontrol. Sedang Lemma 2 dan 3 menguraikan penerapan fungsi implikasi operasi mini Mamdani (R_o) dengan menggunakan kedua jenis produk kartesian, dari kedua lemma ini diperoleh hubungan sederhana antara masukan dan keluaran :

$$R_C : \mu_C = \bigcup_{j=1}^n \alpha_j \wedge \mu_{C_j} \quad (2-31)$$

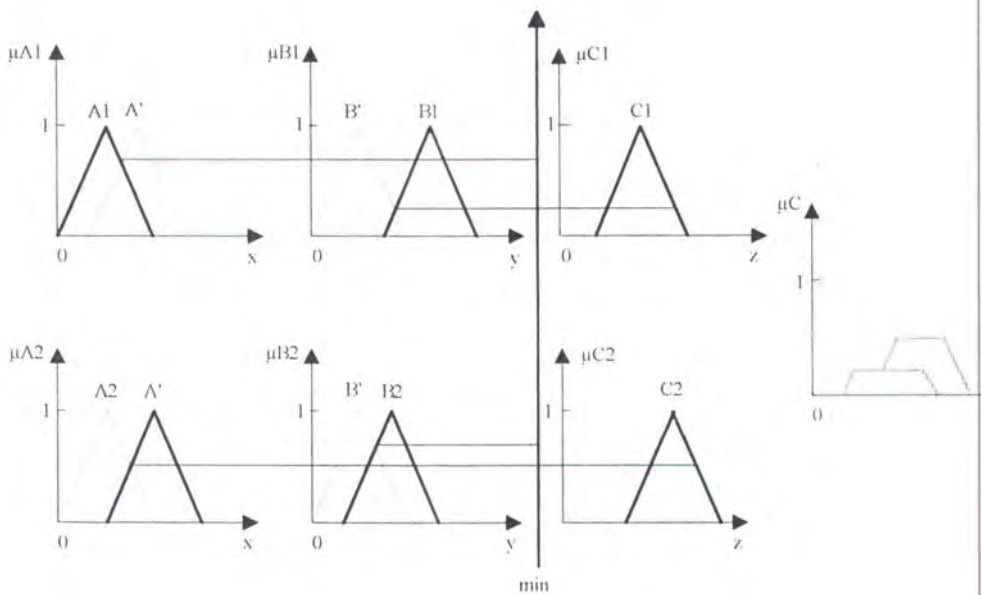
faktor pembobot a_i , merupakan besarnya kontribusi aturan ke i untuk aksi kontrol fuzzy. Faktor pembobot dapat ditentukan dengan dua pilihan yaitu dengan operasi minimum (α_i^{\wedge}) dan produk aljabar (α_i^{\bullet}) dalam produk kartesian. Lemma 2 mensyaratkan masukan bagi aturan kontrol yang berupa suatu himpunan fuzzy. Untuk menjelaskan hal itu, diasumsikan ada 2 aturan kontrol fuzzy sebagai berikut :

R_1 : Jika x adalah A_1 dan y adalah B_1 maka z adalah C_1

R_2 : Jika x adalah A_2 dan y adalah B_2 maka z adalah C_2

yang mendapat masukan himpunan fuzzy A' dan B' . Dan penafsiran grafis dari lemma 2 untuk dua aturan kontrol fuzzy diatas yang mekanisme inferensinya menggunakan operasi minimum, ditunjukkan pada gambar 2.8.

Penafsiran secara grafis Lemma 2 pada gambar 2.8 menggambarkan bahwa pada mekanisme inferensi, setiap aturan kontrol mempunyai kontribusi terhadap sinyal atur yang diputuskan. Kenyataan bahwa masukan PLF diperlakukan sebagai fuzzy tunggal menyebabkan permasalahan dalam mekanisme inferens menjadi lebih sederhana [4, 5].



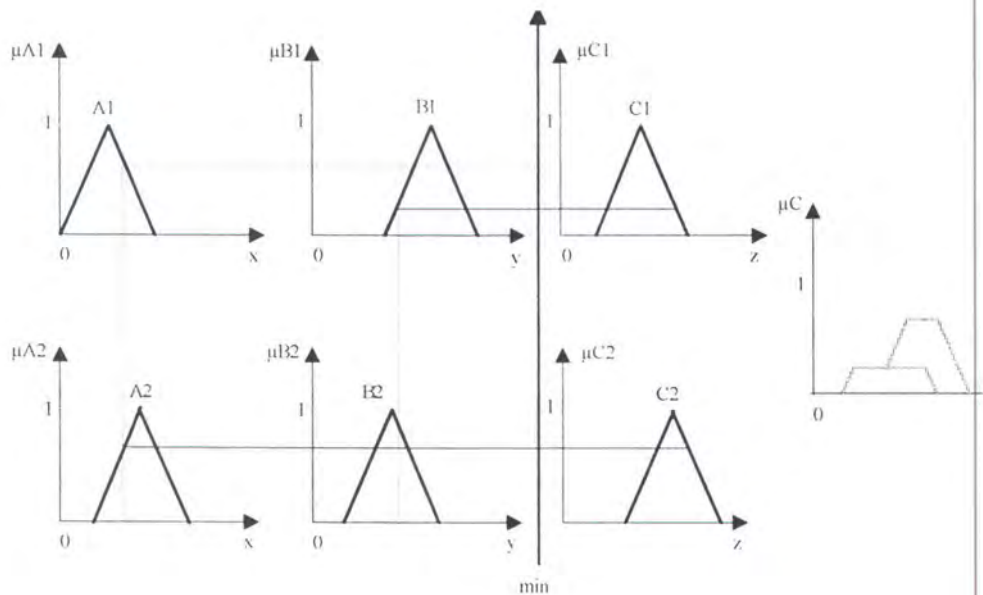
Gambar 2.8. Penafsiran grafis Lemma 2 dengan α^{\wedge} dan R_c [3]

Pada Lemma 3 permasalahan tersebut diatasi. Lemma 3 menyederhanakan permasalahan dengan mengganti himpunan fuzzy dengan fuzzy tunggal. Hal ini karena pada penerapan yang sebenarnya masukan akan bersifat crisp yang diperlakukan sebagai fuzzy tunggal. Penafsiran grafis Lemma 3 pada Gambar 2.9 [4], menjelaskan hal ini. Dari aturan kontrol R_1 dan R_2 dan dengan menerapkan fungsi implikasi operasi mini Mamdani (R_c), produk kartesian operasi minimum dan penggunaan Lemma 3 diperoleh faktor pembobot [18] :

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(X_0) \wedge \mu_{B_1}(v_0) \quad (2-32)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(X_0) \wedge \mu_{B_2}(v_0) \quad (2-33)$$

Fungsi keanggotaan sinyal atur adalah fungsi keanggotaan yang didapat dari persamaan diatas merupakan fungsi keanggotaan untuk sinyal atur tersebut. Dengan fungsi keanggotaan itu akan didapat nilai dari sinyal atur yang didapat dari proses fuzzifikasi [5].



Gambar 2.9. Penafsiran Grafik Lemma 3 [3]

2.7. DEFUZZIFIKASI

Defuzzifikasi merupakan kebalikan dari fuzzifikasi, yaitu mentransformasikan data fuzzy ke bukan fuzzy, atau pemetaan dari ruang aksi atur fuzzy ke aksi atur crisp. Defuzzifikasi dinyatakan sebagai : $Z_o = \text{mem-fuzzikan}(z)$.

Secara garis besar strategi defuzzifikasi bertujuan menghasilkan aksi nyata yang dapat merepresentasikan distribusi dari aksi atur masing-masing kaidah atur, dalam hal ini ada beberapa metoda yang dapat digunakan.

Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode yang dikenal dengan metode COA(Center of Area) atau metode titik pusat. Metode ini menghitung titik pusat dari distribusi sinyal atur dari masing-masing kaidah atur. Secara umum Z_o dihitung dengan menggunakan persamaan titik pusat [5, 6, 7, 13]

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_z(Z_i) \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_z(Z_i)} \quad (2-34)$$

Pada semesta pembicaraan dengan penyokong berhingga (diskrit) dengan jumlah penyokong (z) n persamaan ini dapat digunakan secara langsung karena setiap penyokong nilai keanggotaannya ditentukan secara eksplisit (pendefinisian numerik). Pada semesta tak hingga (kontinu) yang didefinisikan secara fungsional z_i sebagai nilai rata-rata fungsi keanggotaan (u untuk eksponensial, a untuk segitiga dan trapesium) dan $\mu_z(z_i)$ ditafsirkan sebagai nilai keanggotaan z_i setelah dikalikan bobot kontribusi kaidah atur a_i .

Bab Tiga
Pengendalian Frekuensi
Dalam Sitem Tenaga
Listrik

3



" Apabila kalian menginginkan ilmu pengetahuan, maka selidikilah Al-Quran sebab didalamnya termuat ilmu-ilmu orang yang dahulu dan yang belakangan "

(H.R. Buchari)

BAB 3

PENGENDALIAN FREKUENSI DALAM SISTEM TENAGA LISTRIK

Pengaturan frekuensi beban dalam sistem tenaga listrik merupakan persoalan yang penting dalam pengoperasian dan pengaturan sistem tenaga listrik untuk menyediakan daya listrik yang handal dengan frekuensi yang sesuai. Beban sistem yang berupa daya aktif maupun daya reaktif selalu berubah-ubah sepanjang waktu, maka untuk mempertahankan frekuensi dalam batas toleransi yang diperbolehkan, penyediaan atau pembangkitan daya aktif dalam sistem harus selalu disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan atas daya aktif. Penyesuaian daya aktif ini dilakukan dengan mengatur besarnya kopel penggerak generator. Tujuan dasar dari pengaturan frekuensi dalam operasi sistem tenaga listrik adalah :

1. Menyesuaikan pembangkitan sistem total ke beban sistem total.
2. Mengatur agar besar penyimpangan frekuensi beban generator sistem tetap menuju nol setiap saat.
3. Menjaga aliran daya diantara daerah yang berinterkoneksi harus berada pada suatu derajat yang telah ditentukan.

Daya aktif mempunyai hubungan yang erat dengan nilai frekuensi sistem, tetapi pengaruh tegangan kecil, terutama untuk sistem tegangan tinggi. Sistem yang sebenarnya dalam tugas akhir ini mempunyai komponen-komponen yang bersifat kompleks dan tidak linear. Parameter-parameternya merupakan fungsi dari kondisi atau titik operasi.

3.1. DAYA AKTIF DAN FREKUENSI

Didalam sistem tenaga listrik daya dan frekuensi mempunyai hubungan yang sangat erat satu dengan yang lain. Dalam suatu operasi tenaga listrik tidak selamanya dipenuhi suatu keadaan setimbang antara daya yang dibangkitkan dengan kebutuhan beban. Pada suatu saat mungkin daya yang dibangkitkan melebihi kebutuhan, akan tetapi pada saat yang lain mungkin daya yang dibutuhkan meningkat melebihi daya yang tersedia. Dengan perubahan beban, maka akan menyebabkan perubahan pada frekuensi sistem. Selama perubahan frekuensi ini tidak melampaui batas yang telah ditentukan maka hal ini akan sangat mempengaruhi kecepatan dan output sistem.

Frekuensi pada suatu sistem tenaga listrik merupakan indikator dari kualitas pelayanan tenaga listrik. Suatu sistem pengaturan frekuensi akan mendeteksi penyimpangan yang terjadi, dimana hasil pendeteksian ini akan memberikan respon terhadap inlet valve penggerak mula.

Untuk menjaga kualitas pelayanan tenaga listrik, maka diperlukan pengaturan frekuensi yang bekerja sesuai dengan turun naiknya beban, sehingga frekuensi sistem dapat dijaga pada harga nominalnya. Dalam pengoperasiannya frekuensi sistem tidak boleh bekerja lebih rendah dari pada frekuensi yang telah ditetapkan. Perubahan maksimum yang diijinkan dari frekuensi adalah $\pm 0,5$ Hz.

Hal-hal yang menyebabkan tidak diperbolehkannya frekuensi bekerja lebih rendah dari frekuensi yang ditetapkan yaitu [15]:

1. Ketika beroperasi pada frekuensi dibawah 49,5 Hz, beberapa tipe turbin uap mengalami getaran berlebihan dan turbin-turbin tertentu mengalami kelelahan logam hingga sudu-sudunya bisa rusak.
2. Ketika frekuensi turun hingga dibawah 49 Hz, alat pengatur turbin membuka penuh, dan unit-unit pembangkit menjadi dibebani penuh. Penurunan lebih lanjut pada frekuensi dengan mengurangi efisiensi mekanisme bantu pada pembangkit listrik tenaga thermal, khususnya pompa bahan bakar . Kelanjutan pengoperasian pada frekuensi yang lebih rendah jatuhnya output tenaga dan akhirnya kehilangan pembangkitan.
3. Ketika frekuensi turun, penguat-penguat generator kehilangan kecepatannya dan emf generator berkurang, tegangan pada unit-unit sistem juga turun . Ini membawa bahaya jatuhnya tegangan dan lepasnya konsumen (pemakai).

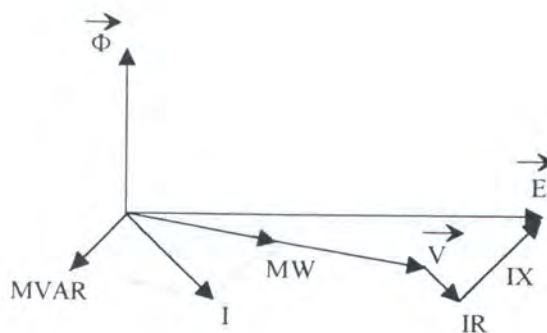
Dalam usaha mengembalikan harga frekuensi pada nilai nominalnya ada empat mekanisme, yaitu :

1. Pengaturan oleh sistem sendiri, bilamana frekuensi dalam sistem turun, daya juga akan turun. Besarnya daya (MW) yang turun karena turunnya frekuensi setiap Hz di sebut konstanta frekuensi beban (Load Frequency Constant). Disamping itu untuk saat gangguan yang tiba-tiba energi kinetik pada rotor mesin pembangkit dapat bertindak mencegah perubahan frekuensi.
2. Pengaturan sendiri oleh pusat-pusat pembangkit, yang bekerja dalam keadaan governor free operation (pengaturan primer). Respon dari pengaturan disini tergantung oleh karakteristik governor serta batas kemampuan fisik dari pada pusat pembangkit.

3. Pada tingkat pengaturan primer masih terdapat penyimpangan frekuensi yang statis. Maka pengaturan selanjutnya oleh pengaturan frekuensi yang bekerja secara manual ataupun otomatis (pengaturan sekunder). Mekanisme pengaturan sekunder adalah memperkecil penyimpangan frekuensi secara lebih teliti, sehingga dapat tercapai frekuensi nominalnya.
4. Setelah tercapai frekuensi pada harga nominal, pengaturan disesuaikan dengan Economic Load Dispatch (ECP) secara manual maupun otomatis yang sifatnya untuk mengatur distribusi beban terhadap pusat-pusat pembangkit.

Dalam sistem tenaga listrik umumnya digunakan generator sinkron tiga fasa untuk pembangkit tenaga listrik utama, maka pengaturan frekuensi sistem praktis tergantung kepada karakteristik generator sinkron.

Pengaturan arus medan generator (Gambar 3.1) [12] hanya akan mempengaruhi panjang pendeknya vektor Φ yang selanjutnya akan pula mempengaruhi panjang pendeknya vektor E karena vektor E sebanding dengan $d\phi/dt$.



Gambar 3.1. Diagram vektor dari fluks magnetik (F), Gaya Gerak Listrik (E), Arus (I), dan tegangan jepit dari sebuah generator sinkron

dengan :

R : tahanan kumparan stator generator

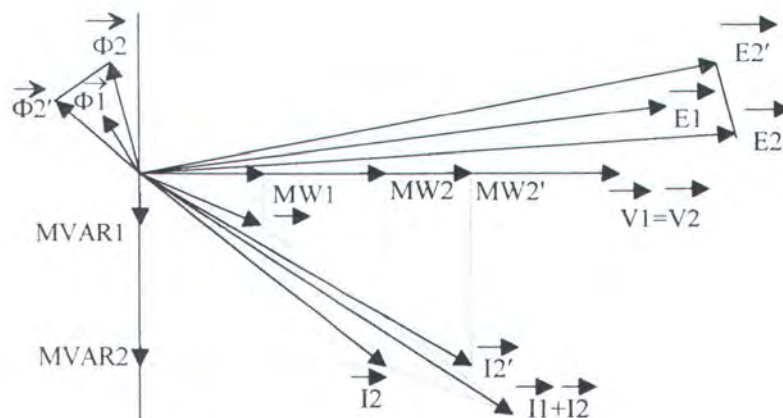
X : reaktansi kumparan stator generator

MW : daya aktif yang dihasilkan generator

MVAR : daya reaktif yang dihasilkan generator

Apabila kopel penggerak salah satu generator pada Gambar 3.2 diperbesar maka rotor (kutub) generator akan bergerak maju dalam arti bahwa vektor akan bergerak ke arah yang memperbesar komponen daya aktif MW dari generator [12].

Misalkan hal ini dilakukan terhadap generator nomor 2 dalam Gambar



Gambar 3.2. Vektor diagram dua buah generator sinkron yang bekerja paralel

3.2 maka keadaan akan berubah seperti ditunjukkan oleh vektor-vektor Φ_2' , E_2' , I_2' . Selanjutnya komponen daya aktif generator memerlukan tambahan bahan-bakar pada unit pembangkit tenaga uap. Oleh karena itu produksi MWH memerlukan penambahan bahan bakar pada pembangkit tenaga uap.

Menurut hukum Newton ada hubungan antara kopel mekanis penggerak generator dengan perputaran generator, yaitu [9] :

$$T_G - T_B = H \cdot d\omega/dt \quad (3-1)$$

T_G : kopel penggerak generator,

T_B : kopel beban yang membebani generator,

H : momen inersia dari generator beserta mesin penggeraknya,

ω : kecepatan sudut perputaran generator.

Frekuensi yang dihasilkan generator adalah :

$$f = \omega/2\pi \quad (3-2)$$

Hal ini berarti bahwa pengaturan frekuensi dalam sistem berarti pula pengaturan kopel penggerak atau juga berarti pengaturan daya aktif dari generator. Ditinjau dari segi mesin penggerak generator ini berarti bahwa pengaturan frekuensi sistem adalah pengaturan pemberian bahan bakar pada unit termis. Ditinjau dari segi beban, frekuensi akan turun apabila daya aktif yang dibangkitkan tidak mencukupi kebutuhan beban dan sebaliknya frekuensi akan naik apabila ada surplus daya aktif dalam sistem. Secara mekanis dengan melihat persamaan-persamaan (3-1) dan (3-2) ini berarti bahwa apabila :

$$T_G - T_B = \Delta T < 0, \text{ maka } d\omega/dt < 0, \text{ frekuensi turun}$$

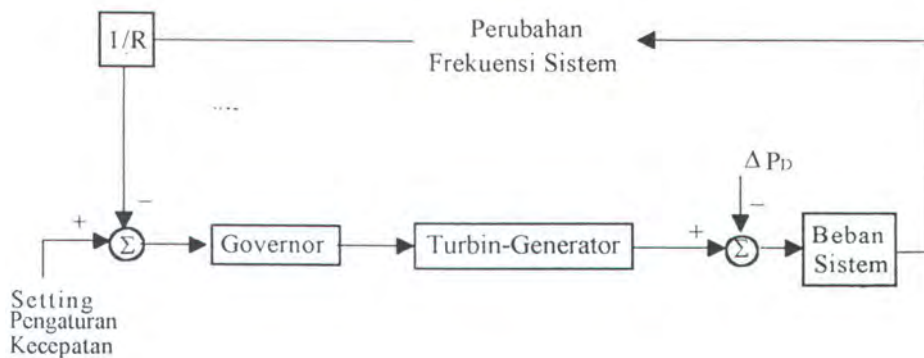
$$T_G - T_B = \Delta T > 0, \text{ maka } d\omega/dt > 0, \text{ frekuensi naik}$$

Secara tidak langsung penyediaan daya reaktif dapat pula mempengaruhi frekuensi sistem, karena penyediaan daya reaktif mempunyai pengaruh besar terhadap kenaikan tegangan yang selanjutnya dapat menyebabkan kenaikan beban daya aktif. Dalam tugas akhir ini hanya akan dibahas pengaturan frekuensi dalam

sistem yang berkaitan dengan penyediaan daya aktif mengingat hal ini merupakan hal yang dominan.

3.3. SISTEM PENGATURAN FREKUENSI

Sistem ini terdiri dari komponen-komponen utama yaitu : governor, turbin dan sistem beban. Selain itu ditambahkan juga speed droop governor yang berfungsi sebagai komponen pengatur proporsional untuk mengurangi



Gambar 3.3. *Sistem Pengaturan Frekuensi*

kesalahan frekuensi yang terjadi selama kondisi operasi. Blok diagram dari sistem pengaturan frekuensi dapat dilihat pada Gambar 3.3 [9].

Untuk mendapatkan frekuensi yang diinginkan (nominal) akibat dari penambahan/pengurangan beban atau lepasnya pembangkit dari sistem dilakukan dengan mengatur pembukaan katup-katup pengatur (control valves) bahan bakar dari penggerak mula. Penggerak mula dari uap selalu dilengkapi dengan pengatur perputaran (speed droop governor). Governor ini alat utama

untuk mengatur daya dan frekuensi. Posisi katub governor diatur dengan menggunakan posisi pengubah kecepatan untuk mengatur kecepatan turbin dan daya keluaran. Daya listrik keluaran harus seimbang dengan jumlah total permintaan beban pada sistem supaya dapat beroperasi pada kondisi mantap. Pada kenyataannya beban sistim yang berubah-ubah menyebabkan frekuensi juga berubah-ubah.

3.3.1. Sistem Governor

Pada sistem tenaga listrik, permintaan beban sering kali berubah-ubah besarnya. Hal ini menimbulkan perubahan-perubahan parameter dari sistem. Salah satu parameter yang terpengaruh dengan adanya perubahan beban adalah parameter frekuensi. Perubahan frekuensi ini jika tidak segera ditanggulangi dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan-peralatan listrik yang peka terhadap perubahan frekuensi.

Pada generator pembangkit, persamaan frekuensi dapat dilihat pada persamaan :

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad (3-3)$$

dengan : f = frekuensi

p = jumlah pasang kutub

n = kecepatan putaran permenit.

Dari persamaan tersebut, frekuensi dapat dirubah kembali dengan merubah parameter jumlah pasang kutup (p) dan kecepatan putar generator (n). Pada generator, kutub-kutub biasanya sudah terpasang secara permanen sehingga tidak mungkin dilakukan perubahan untuk waktu yang mendadak. Oleh karena itu,

parameter yang paling mudah dirubah untuk mendapatkan perubahan frekuensi adalah parameter kecepatan generator.

Pada pembangkit listrik Tenaga Uap, generator digerakkan oleh turbin uap. Oleh karena itu kecepatan generator dapat diatur dengan jalan mengatur kecepatan turbin uap. Perangkat yang mengatur kecepatan turbin air/uap inilah yang dinamakan dengan governor.

Governor merupakan komponen yang mengatur kecepatan masuknya aliran bahan bakar kedalam turbin dengan cara mengatur pergerakan katup utama yang masuk ke turbin. Gambar governor secara skematik diperlihatkan pada Gambar 3.4. Sistem ini terdiri dari komponen-komponen :

1. Fly ball (bola-bola berputar). Komponen ini merupakan jantungnya sistem yang sensitive terhadap perubahan putaran/kecepatan (frekuensi).
2. Penguat hidrolik . Terdiri dari katup kemudi dan piston utama. Berfungsi untuk mengatur pembukaan/penutupan uap ke turbin.
3. Mekanisme sambungan. AC adalah sambungan batang dan CDE adalah sambungan batang yang lain berpusat di D. Mekanisme sambungan ini akan mengatur pergerakan katub yang sebanding dengan putaran.
4. Pengubah kecepatan. Komponen yang memberikan setting daya keluaran untuk turbin.

3.3.2 Model Dinamis Sistem Tenaga Listrik

3.3.2.1 Model Governor

Sistem pada Gambar 3.4 [9] pada saat awal operasi dapat diamsuksikan bahwa :

1. Sistem beroperasi pada keadaan tunak (steady state), sambungan mekanik diam dan katup kemudi tertutup.
2. Katup uap terbuka dengan magnitude tertentu.
3. Turbin berputar dengan kecepatan tetap dengan daya keluaran turbin sebanding dengan beban generator.

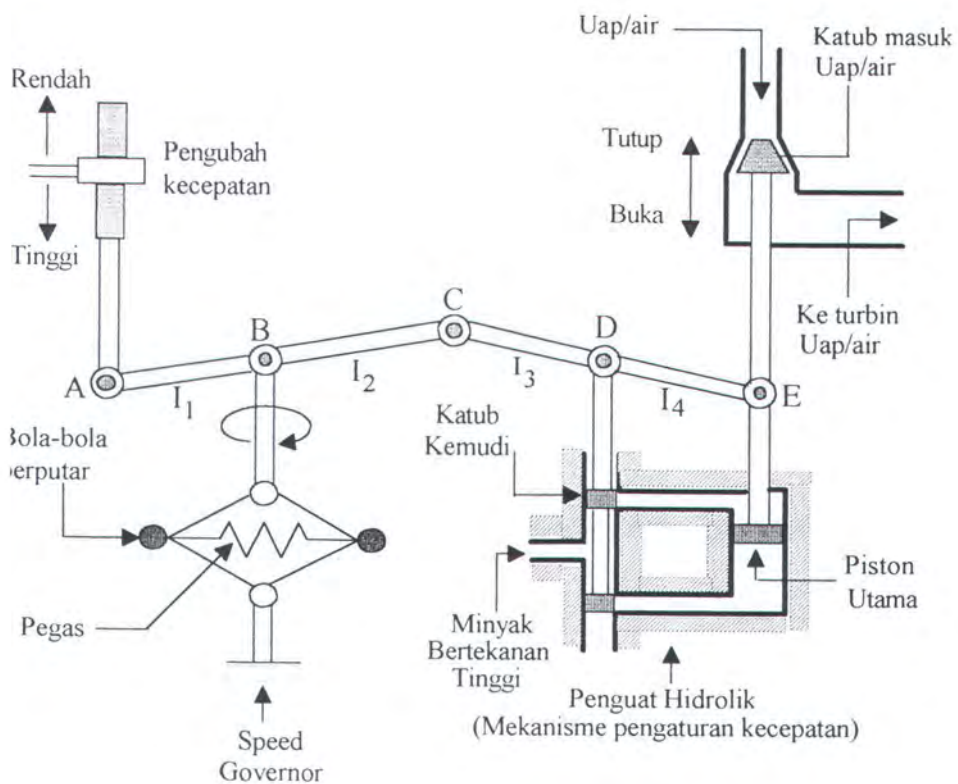
Kondisi operasi ditandai dengan :

f_o : frekuensi sistem (putaran/kecepatan)

P_{OG} : keluaran generator

: keluaran turbin (abaikan rugi-rugi generator)

x_{OD} : setting katup uap



Gambar 3.4. Sistem Pengaturan Governor

Dari Gambar 3.4 terlihat jika pengubah kecepatan bergerak keatas, titik A bergerak ke bawah sebesar Δx_A . Mekanisme ini menyebabkan daya keluaran turbin bertambah, sehingga perubahan linear terhadap titik operasi dapat dinyatakan sebagai :

$$\Delta x_A = k_1 \cdot \Delta P_c \quad (3-4)$$

dengan ΔP_c adalah pertambahan daya dan k_1 adalah konstanta positif. Akibat dari bergerakanya titik A ke bawah, katup kemudi (pilot valve) bergerak keatas sehingga minyak bertekanan tinggi masuk ke silinder pada bagian atas piston utama. Piston kemudian bergerak ke bawah yang menyebabkan katup uap bertambah terbuka, sehingga putaran turbin dan generator bertambah, akibatnya frekuensinya juga naik sebesar Δf . Kenaikan frekuensi menyebabkan gaya sentrifugal fly ball bertambah, kenaikan gaya yang didesak pada sebelah bawah pegas menyebabkan titik A bergerak ke atas sebesar $k_2 \Delta f$, k_2 adalah konstanta positif. Gerakan titik B yaitu [9] :

$$\begin{aligned} \Delta x_B &= -\left[\frac{l_2}{l_1}\right] \Delta x_A + \left[\frac{l_2}{l_1}\right] k_2 \Delta f \\ &= -\left[\frac{l_2}{l_1}\right] k_1 \Delta P_c + \left[\frac{l_2}{l_1}\right] k_2 \Delta f \\ &= -k_3 \Delta P_c + k_4 \Delta f \end{aligned} \quad (3-5)$$

sedangkan gerakan titik C adalah :

$$\begin{aligned} \Delta x_C &= \left[\frac{l_3}{l_3+l_4}\right] \Delta x_B + \left[\frac{l_4}{l_3+l_4}\right] \Delta x_D \\ &= k_5 \Delta x_B + k_6 \Delta x_D \end{aligned} \quad (3-6)$$

Asumsikan bahwa rugi-rugi aliran dan kompresibilitas diabaikan, sehingga laju debit q aliran minyak ke silinder berbanding lurus dengan laju perpindahan piston utama yaitu :

$$q = a \frac{dx}{dt} \quad (3-7)$$

dimana a adalah penampang piston. Jika volume minyak yang masuk kesilinder berbanding lurus dengan pergeseran katup kemudi dan volume minyak yang masuk ke silinder sebanding dengan integral waktu Δx_C sehingga diperoleh :

$$\Delta x_D = k_7 \int_0^t -\Delta x_C dt \quad (3-8)$$

dimana k_7 adalah konstanta positif. Manipulasi persamaan (3-2) sampai (3-6) menghasilkan fungsi alih model linear sistem governor dalam bidang s ($\Delta x_D = \Delta x_g$), yaitu :

$$\Delta x_g(s) = \frac{K_g}{1+T_g s} \left[\Delta P_C(s) - \frac{1}{R} \Delta F(s) \right] \quad (3-9)$$

3.3.2.2. Model Turbin

Model turbin yang digunakan di pembangkitan tergantung dari tenaga yang menggerakkan turbin tersebut. Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) digunakan turbin air, PLTU menggunakan turbin uap, PLTG turbin gas, dan lainnya. Turbin uap sendiri terdiri dari dua jenis yaitu jenis non-reheat dan reheat. Model turbin non reheat mempunyai bentuk yang paling sederhana yaitu hanya memiliki satu konstanta waktu, yaitu konstanta turbin. Persamaan dinamis turbin dinyatakan oleh perubahan daya keluaran turbin ΔP_t yang dibandingkan dengan pergerakan katup uap Δx_g yaitu :

$$\Delta P_t(s) = \frac{K_t}{(1+T_t s)} \Delta x_g(s) \quad (3-10)$$

3.3.2.3. Model Beban

Kenaikan daya masukan ke beban generator dinyatakan sebagai $\Delta P_G - \Delta P_D$, dimana $\Delta P_G = \Delta P_t$ yaitu pertambahan daya keluaran turbin (asumsikan rugi-rugi generator diabaikan) dan ΔP_D adalah pertambahan beban. Kenaikan daya masukan ke sistem tenaga dihitung dengan dua cara yaitu :

1. Laju pertambahan energi kinetik yang tersimpan dalam rotor generator. Pada frekuensi normal (f_o) energi kinetik yang tersimpan adalah :

$$W_o = H \times P_r \quad \text{kW.det (kilojoules)} \quad (3-11)$$

dengan P_r adalah kapasitas generator (kW) dan H adalah konstanta inersia. Energi kinetik sebanding dengan kuadrat kecepatan (frekuensi), energi kinetik pada frekuensi $f_o + \Delta f$ adalah :

$$W = \left[\frac{f_o + \Delta f}{f_o} \right]^2 W_o \cong \left[1 + \frac{2\Delta f}{f_o} \right] H P_r \quad (3-12)$$

Laju perubahan energi kinetik yaitu :

$$\frac{dW}{dt} = \frac{2W_o}{f_o} \frac{d(\Delta f)}{dt} \quad (3-13)$$

2. Laju perubahan beban terhadap frekuensi, yaitu $\partial P_D / \partial f$ dapat dianggap konstan untuk perubahan frekuensi yang kecil dan dapat dinyatakan sebagai :

$$\left[\frac{\partial P_D}{\partial f} \right] \Delta f = D \Delta f \quad (3-14)$$

dimana D adalah konstanta positif untuk beban motor yang predominan dan D dapat ditentukan secara empiris. Persamaan keseimbangan daya atau persamaan dinamis daya dapat ditulis [8] :

$$\Delta P_G - \Delta P_D = \frac{2H P_r}{f_o} \frac{d(\Delta f)}{dt} + D \Delta f \quad (3-15)$$

dibagi dengan P_r , maka diperoleh :

$$\Delta P_G(pu) - \Delta P_D(pu) = \frac{2H}{f_o} \frac{d}{dt}(\Delta f) + D(pu)\Delta f \quad (3-16)$$

fungsi alih dalam bidang-s untuk Δf , yaitu :

$$\Delta f(s) = \frac{\Delta P_G(s) - \Delta P_D(s)}{D + \frac{2H}{f_o}s}$$

$$\Delta f(s) = [\Delta P_G(s) - \Delta P_D(s)] \times \left(\frac{K_p}{1 + T_p s} \right) \quad (3-17)$$

dengan :

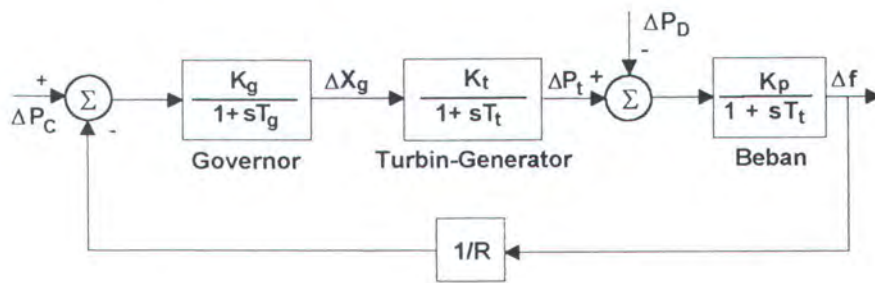
$$T_p = \frac{2H}{D f_o}$$

$$K_p = \frac{1}{D}$$

T_p = konstanta waktu sistem tenaga,

K_p = penguatan (gain) sistem tenaga.

Gambar blok diagram dari sistem pengaturan frekuensi untuk satu area seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5. [9].



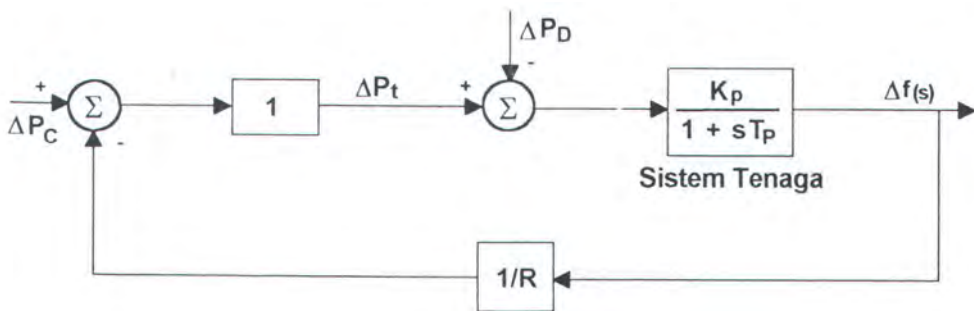
Gambar 3.5. Diagram Blok Sistem Pengaturan Frekuensi

3.3.2.4. Respon Dinamis Sistem

Untuk memperoleh respon dinamis sistem yaitu dengan mengubah frekuensi sebagai fungsi waktu untuk setiap tahap perubahan beban. Karakteristik persamaan orde tiga, respon dinamisnya hanya dapat diperoleh untuk kasus numerik yang khusus. Sehingga karakteristik persamaan dapat didekati sebagai orde satu dimana besarnya konstanta waktu untuk sistem pengaturan frekuensi beban mempunyai hubungan :

$$T_g < T_t < T_p.$$

Jika $T_g = T_t = 0$, (dan $K_g K_t \cong 1$), diagram blok dari Gambar 3.5 dapat direduksi menjadi Gambar 3.6 berikut ini [9].



Gambar 3.6. Blok diagram sistem frekuensi beban satu area dengan pendekatan orde satu.

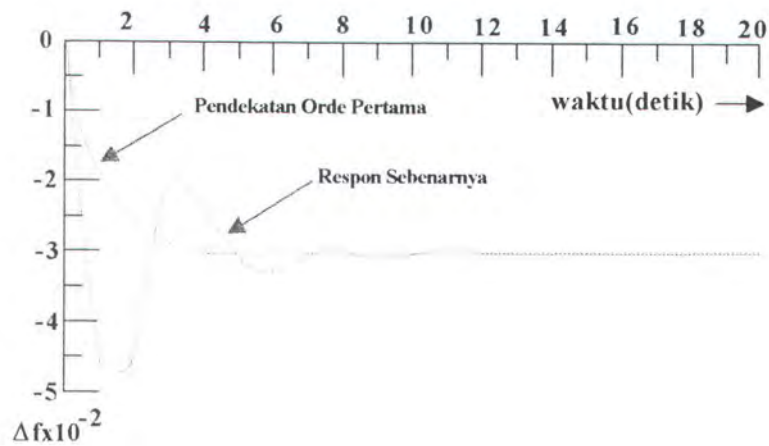
$$\Delta f_t = \frac{R K_p}{R + K_p} \left[1 - e^{-\frac{t}{T_p} \left(\frac{R}{R + K_p} \right)} \right] \Delta P_D \quad (3-17)$$

Jika $R = 3$, $K_p = 1/D = 100$, $T_p = 20$, $\Delta P_D = 0.01$ pu

$$\Delta f(t) = -0,029 \left(1 - e^{-\frac{t}{1,717}} \right)$$

$$\Delta f|_{\text{steady state}} = -0,029 \text{ Hz}$$

Grafis respon dinamis untuk persamaan di atas (orde satu) dan respon sebenarnya diberikan pada Gambar 3.7 berikut ini. Terlihat bahwa pendekatan orde satu adalah pendekatan yang tidak teliti.



Gambar 3.7. Respon dinamis untuk perubahan frekuensi untuk setiap perubahan beban

Bab Empat
Pengendalian Frekuensi
Menggunakan Logika Fuzzy

4



*"Dan seorang manusia tidaklah memperoleh
selain apa yang telah dilaksanakannya "*

(QS. An Najm : 39)

Duta Jasa

BAB 4

PENGENDALIAN FREKUENSI DENGAN MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY

Berdasarkan metodologi perancangan suatu pengaturan logika fuzzy yang telah dibahas pada bab II maka dilakukan perancangan pengatur logika fuzzy untuk sistem pengaturan frekuensi pada PLTU Paiton. Pertama-tama yang harus dilakukan adalah menentukan sistem yang akan diatur kemudian tinjauan secara kualitatif terhadap objek yang akan diatur dan pengaturannya untuk menentukan bentuk basis pengetahuan. Setelah itu menentukan semesta pembicaraannya berupa kesalahan frekuensi yang diberikan ke beban (error) dan perubahan kesalahannya (perubahan error). Error (e_1) adalah selisih antara kesalahan frekuensi yang dibangkitkan (Δf) dengan referensi yang diinginkan, Perubahan error (e_2) adalah selisih antara perubahan frekuensi yang dibangkitkan pada waktu ini dan waktu sebelumnya.

Proses untuk menentukan basis pengetahuan dalam pengatur logika fuzzy adalah sebagai berikut :

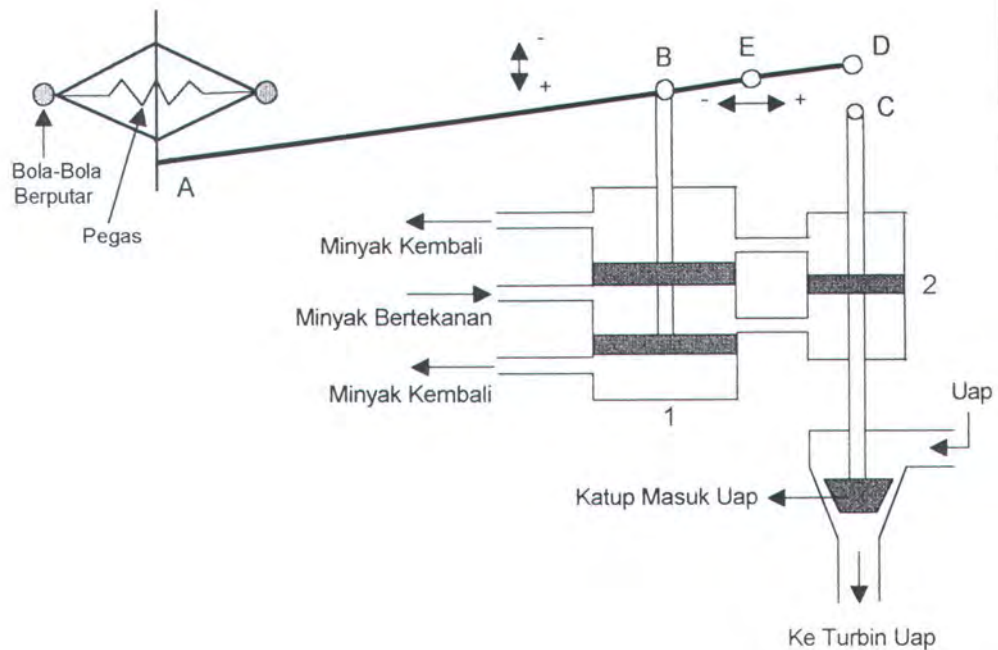
1. Menggambarkan strategi yang dilakukan operator manusia dalam mengoperasikan suatu sistem pengaturan.
2. Menentukan bentuk-bentuk pengertian linguistik dalam sistem tersebut.
3. Menentukan model untuk memprediksi hasil operasi.
4. Mengkonversikan strategi linguistik operator manusia menjadi aturan dasar.

Hasil rancangan diwujudkan dalam suatu algoritma pengaturan yang direalisasikan dalam bentuk perangkat lunak pada komputer. Untuk proses selanjutnya akan dilakukan simulasi pada sistem yang telah ditentukan. Perancangan sistem pengaturan dengan menggunakan pengatur logika fuzzy sebenarnya tidak memerlukan model matematis dari plant. Karena pada rancangan ini dilakukan simulasi maka diperlukan model matematis untuk mencari hubungan input outputnya.

4.1. KARAKTERISTIK SISTEM

Sistem pengaturan frekuensi pada sistem tenaga listrik tidak dapat dipisahkan dari pengaturan governornya. Sistem pengaturan frekuensi merupakan sistem tenaga listrik yang mengatur penyediaan tenaga listrik bagi para pelanggan dengan frekuensi yang secara praktis masih dalam toleransi yang telah ditentukan. Daya aktif mempunyai hubungan yang erat dengan nilai frekuensi dalam sistem, sedangkan beban sistem yang berupa daya aktif maupun daya reaktif selalu berubah-ubah sepanjang waktu sehingga pengaturan frekuensi yang dilakukan adalah dengan melakukan pengaturan penyediaan daya aktif dalam sistem.

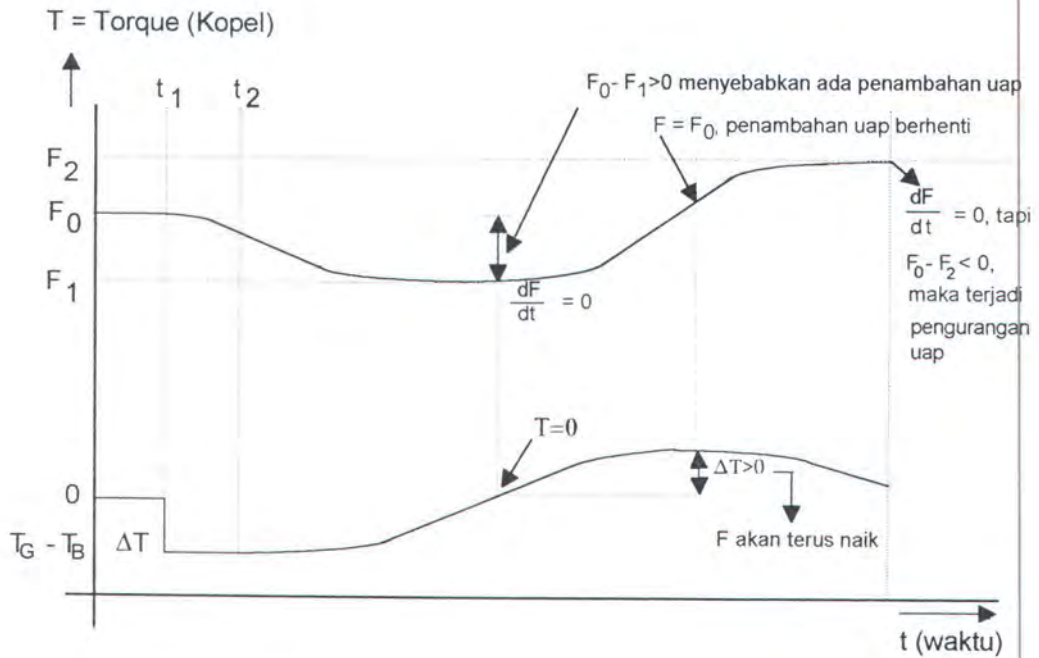
Pengaturan penyediaan daya aktif ini dilakukan dengan mengatur besarnya kopel mekanis yang diperlukan untuk memutar generator, hal ini berarti pengaturan pemberian uap pada pembangkit tenaga uap. Pengaturan pemberian uap pada pembangkit tenaga uap tersebut dilakukan oleh governor pada unit pembangkit. Gambar 4.1 menggambarkan prinsip kerja dari suatu governor [8].



Gambar 4.1. *Prinsip kerja Governor*

Apabila pada saat $t = t_0$ seperti terlihat pada Gambar 4.1 dan 4.2 ada penambahan beban maka frekuensi akan menurun dari nilai F_0 ke F' dan selanjutnya governor akan bekerja dengan urutan sebagai berikut :

Untuk $t = t_1$ akan terjadi penambahan beban dan frekuensi mulai menurun. Untuk $t = t_2$ mulai ada penambahan uap. Gambar 3.5 menunjukkan Respons Governor yang astatik.

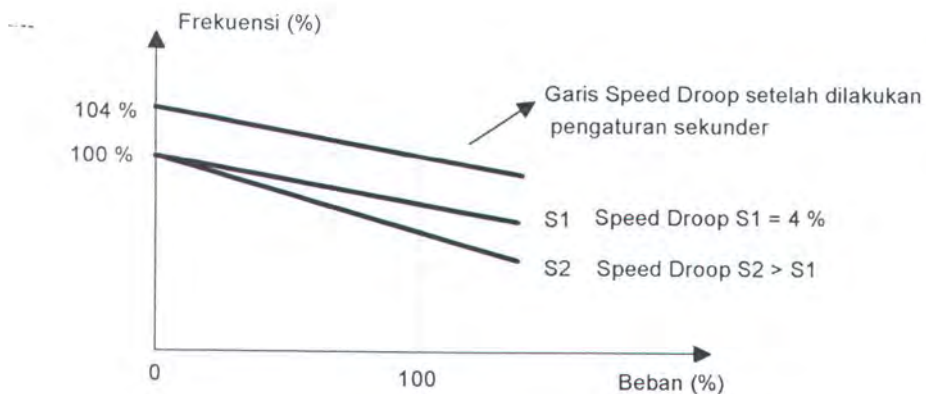


Gambar 4.2. Respon Governor Yang Astatik

Dari gambar 4.2 terlihat $\Delta T = T_G - T_B = 0$ dimana $dF/dt = 0$, tetapi frekuensi tidak sama dengan F_0 sehingga tetap terjadi penambahan atau pengurangan uap. Pada saat frekuensi = F_0 , $\Delta T = T_G - T_B$ tidak sama dengan nol sehingga tetap ada penambahan/pengurangan frekuensi. Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa Governor ini tidak bisa stabil (astatis). Agar governor bisa stabil titik D harus dihubungkan dengan titik C, sehingga untuk suatu tambahan uap tertentu titik B juga naik dan governor berhenti bekerja walaupun terjadi pada suatu frekuensi yang lebih kecil dari F_0 , pada saat ini terjadi speed droop. Bila titik D dan C dihubungkan maka perubahan kecepatan/beban dilakukan dengan merubah posisi titik B. Dengan menghubungkan titik C dan titik D maka bisa tercapai keseimbangan baru namun keseimbangan baru ini terjadi pada frekuensi F_1 yang lebih rendah dari frekuensi semula F_0 . Untuk mempertahankan frekuensi

pada nilai F_0 perlu titik B ditekan kebawah. Langkah - langkah tersebut diatas yang dilakukan oleh governor secara otomatis tetapi menghasilkan frekuensi $F_1 < F_0$ disebut pengaturan primer yang dilakukan oleh governor, sedangkan penekanan titik B untuk mengembalikan frekuensi ke nilai F_0 disebut pengaturan sekunder. pengaturan sekunder tidak dilakukan otomatis oleh governor namun dapat dilakukan secara manual oleh operator atau oleh komputer.

Sifat governor yang dapat stabil tetapi tidak dapat mengembalikan nilai frekuensi semula disebut bahwa governor mempunyai speed droop, gambar 4.3 menggambarkan karakteristik speed droop dari governor.

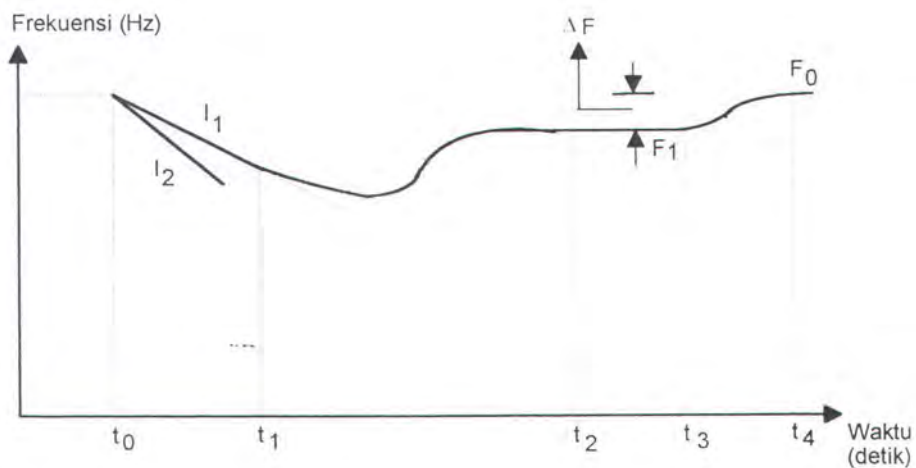


Gambar 4.3. Karakteristik Speed Droop Governor

Sebagai contoh pada beban penuh (100%) dikehendaki frekuensi = 100 % dan untuk ini frekuensi pada beban nol harus = 104 % maka dikatakan bahwa governor mempunyai speed droop = 4 %. Dengan menggeser letak titik E pada gambar 4.1 maka speed droop dari governor dapat diatur karena letak titik E merupakan engsel yang mengatur besarnya umpan balik untuk memberhentikan

kerja Governor. Makin kecil speed droop dari governor makin peka governor tersebut terhadap perubahan beban tetapi juga lebih besar kemungkinannya untuk tidak stabil.

Gambar 4.4 menunjukkan perubahan frekuensi sebagai fungsi waktu. pada saat $t = t_0$ ada penambahan beban sehingga frekuensi menurun menurut garis I_1



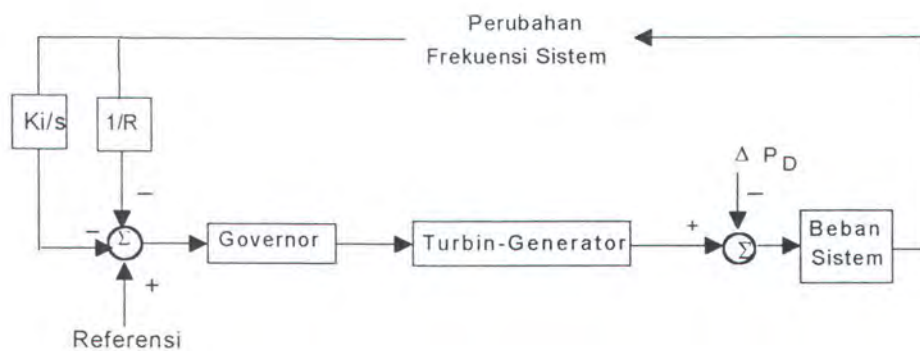
Gambar 4.4. Proses Pengaturan Frekuensi Sebagai Fungsi Waktu

Apabila inersia sistem lebih kecil maka penurunan frekuensi akan lebih cepat misalnya menurut garis I_2 . Pada saat $t = t_1$, governor mulai mengadakan pengaturan primer sampai $t = t_2$, dan tercapai frekuensi = F_1 dan pada saat $t = t_3$, dilakukan pengaturan sekunder sehingga frekuensi kembali menjadi F_0 . Besarnya ΔF tergantung kepada pengaturan speed droop governor.

4.2. PENGATUR LOGIKA FUZZY

Pada sistem pengaturan yang ditunjukkan seperti gambar 4.1 dengan $1/R$ adalah speed drop governor, K_i adalah penguatan integrator, ΔP_D adalah

perubahan beban dan referensi sebagai masukan. Sistem ini selalu membutuhkan umpan balik dari keluaran. Sinyal umpan balik digunakan untuk dibandingkan dengan sinyal referensi dan bertujuan untuk menghilangkan perbedaan relatif antara masukan (referensi = setting yang diinginkan) dan keluaran (error). Dalam kondisi ideal selama peralihan (transient) dan error masih ada, maka governor akan terus mendapat masukan untuk mengubah posisi katupnya sehingga dihasilkan daya yang sesuai agar diperoleh frekuensi yang diinginkan. Lewatan (overshoot) timbul sehubungan dengan sifat lembam sistem (bila peredaman sistem kurang).



Gambar 4.5. Blok Diagram Pengaturan Frekuensi

Dengan tambahan Pengatur Logika Fuzzy, sistem dapat mencapai keadaan tunak yang cepat, dengan overshoot sekecil mungkin, dan error pada keadaan tunak adalah nol.

4.2.1. Penentuan Variabel Masukan Dan Keluaran Fuzzy

Dengan tambahan Pengatur Logika Fuzzy, sistem ini diharapkan dapat mencapai keadaan tunak dalam waktu cepat dengan lewatan (overshoot) sekecil

mungkin dan error pada keadaan tunak nol. Dari pengenalan terhadap perilaku pengaturannya adalah sebagai berikut :

- Pengaturan selalu mengacu pada error yang dihasilkan sistem.
- Sinyal atur yang diumpun sebanding dengan errornya atau kalau diperlukan dapat diberikan penguatan-penguatan tertentu.
- Peredaman sinyal atur tidak perlu bersifat akumulatif (dijumlahkan) jika diasumsikan error keadaan tunak selalu nol.

Berdasarkan pengenalan terhadap perilaku pengatur tersebut, dapat ditentukan variabel masukan Pengatur Logika Fuzzy yang digunakan yaitu variabel error dan variabel perubahan errornya. Sedangkan variabel keluaran Pengatur Logika Fuzzy adalah variabel sinyal atur. Variabel-variabel masukan dan keluaran lebih lanjut didefinisikan sebagai berikut :

- error ($e1[k]$) adalah input acuan objek atur dikurangi output objek atur :

$$e1[k] = \text{Referensi} - \Delta f[k] \quad (4-1)$$

Referensi = batas toleransi perubahan frekuensi yang diijinkan.

- perubahan error ($e2[k]$) adalah error sekarang dikurangi error yang lalu :

$$e2[k] = e1[k] - e1[k-1] \quad (4-2)$$

- sinyal atur ($u[k]$) adalah sinyal atur yang dihasilkan dari mekanisme inferensi Pengatur Logika Fuzzy dan tidak ada hubungannya dengan sinyal atur sebelumnya.

4.2.2. Strategi Pengaturan Pengatur Logika Fuzzy

Untuk pemakaian Pengatur Logika Fuzzy terdapat beberapa parameter yang menentukan kemampuan dari pengatur. Dalam bab II telah dijelaskan secara lengkap parameter-parameter untuk perancangan kontroler logika Fuzzy.

Parameter-parameter tersebut antara lain :

- Pemilihan variabel masukan dan keluaran
- Himpunan Fuzzy dan fungsi keanggotaan
- Operator inferensi dan implikasi
- Penyusunan basis data
- Operator Defuzzifikasi

4.2.2.1. Basis Data

Penyusunan basis data berarti mendefenisikan himpunan-himpunan fuzzy dalam daerah masukan dan keluaran. Prosedur ini ditekankan pada pembagian ruang masukan dan keluaran dengan sejumlah nilai variabel linguistik (himpunan fuzzy) yang menggunakan fungsi keanggotaan tertentu. Dalam penyusunan basis data, fungsi keanggotaan yang akan dipakai adalah bentuk fungsi segitiga seragam (uniform).

Langkah-langkah dalam penyusunan basis data meliputi :

- Skala pemetaan

Untuk fungsi seragam, kuantisasi dan normalisasi tidak diperlukan karena masukannya kontinyu dan fungsi keanggotaannya didefenisikan secara fungsional dan bersifat simetris.

- Pembagian ruang masukan dan keluaran

Pembagian dilakukan dengan 7 variabel linguistik, yaitu negatif besar (NB), negatif sedang (NS), negatif kecil (NK), nol (NL), positif kecil (PK), positif sedang (PS) dan positif besar (PB).

Pembagian ruang masukan dan keluaran dengan 7 nilai variabel linguistik didasari pertimbangan bahwa jumlah ini cukup memadai untuk merepresentasikan berbagai kondisi masukan dan keluaran.

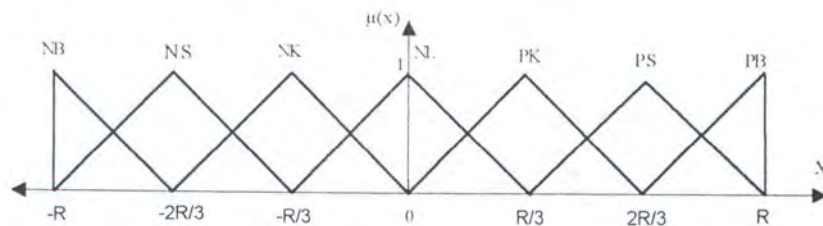
- Pemilihan fungsi keanggotaan.

Fungsi keanggotaan yang akan digunakan adalah fungsi segitiga dengan parameter yang telah ditentukan. Pemilihan fungsi segitiga didasari oleh pertimbangan bahwa fungsi ini membatasi jangkauan semesta pembicaraan tiap himpunan fuzzy. Dengan demikian jumlah perhitungan untuk menurunkan sinyal atur dapat dikurangi dan waktu perhitungan (eksekusi) dapat ditekan. Penggunaan parameter fungsi yang seragam mengakibatkan pembagian ruang secara merata. Pembagian secara merata memberi makna bahwa dalam memandang (menggolong-golongkan) suatu besaran haruslah secara proporsional dimana hal ini secara langsung mempengaruhi linearitas perilaku dari pengaturnya, yaitu dalam hal penguatan terhadap masukan.

Berdasarkan ketentuan-ketentuan tersebut dilakukan penyusunan basis data yang hasilnya diungkapkan dalam bentuk tabel-tabel dan tafsiran grafisnya. Tabel 4.1 yang ditunjukkan dibawah ini adalah tabel untuk bentuk segitiga uniform.

Tabel 4.1. Pendefinisian bentuk fungsi segitiga unifor

Range Segmen	Jangkauan	a	b	Himpunan Fuzzy
(-R, R)	(-R, -2/3 R)	-R	1/3 R	NB
	(-R, -1/3 R)	-2/3 R	1/3 R	NS
	(-2/3 R, 0)	-1/3 R	1/3 R	NK
	(-1/3 R, 1/3 R)	0	1/3 R	NL
	(0, -2/3 R)	1/3 R	1/3 R	PK
	(1/3 R, R)	2/3 R	1/3 R	PS
	(-2/3 R, R)	R	1/3 R	PB

**Gambar 4.6.** Penafsiran Grafis Dari Tabel 4.1.

Secara lebih rinci pembagian ruang masukan dan keluaran untuk menghasilkan basis data sebagai berikut :

1. Error ($e[k]$)

$$\mu_{NB}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k] + R1)^2})/b1$$

$$\mu_{NS}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k] + 2/3 R1)^2})/b1$$

$$\mu_{NK}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k] + 1/3 R1)^2})/b1$$

$$\mu_{NL}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k])^2})/b1$$

$$\mu_{PK}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k] - 1/3 R1)^2})/b1$$

$$\mu_{PS}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k] - 2/3 R1)^2})/b1$$

$$\mu_{PB}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k] + R1)^2})/b1$$

dengan rataaan R1 dan sebaran b1 = 1/3 R1

2. Perubahan Error (e2[k])

$$\mu_{NB}(e2[k]) = 1 - (\sqrt{(e2[k] + R2)^2})/b2$$

$$\mu_{NS}(e2[k]) = 1 - (\sqrt{(e2[k] + 2/3 R2)^2})/b2$$

$$\mu_{NK}(e2[k]) = 1 - (\sqrt{(e2[k] + 1/3 R2)^2})/b2$$

$$\mu_{NL}(e2[k]) = 1 - (\sqrt{(e2[k]^2)})/b2$$

$$\mu_{PK}(e2[k]) = 1 - (\sqrt{(e2[k] - 1/3 R2)^2})/b2$$

$$\mu_{PS}(e2[k]) = 1 - (\sqrt{(e2[k] - 2/3 R2)^2})/b2$$

$$\mu_{PB}(e2[k]) = 1 - (\sqrt{(e2[k] + R2)^2})/b2$$

dengan rataaan R2 dan sebaran b2 = 1/3 R2

3. Sinyal Atur (u[k])

$$\mu_{NB}(u[k]) = 1 - (\sqrt{(u[k] + R3)^2})/b3$$

$$\mu_{NS}(u[k]) = 1 - (\sqrt{(u[k] + 2/3 R3)^2})/b3$$

$$\mu_{NK}(u[k]) = 1 - (\sqrt{(u[k] + 1/3 R3)^2})/b3$$

$$\mu_{NL}(u[k]) = 1 - (\sqrt{(u[k]^2)})/b3$$

$$\mu_{PK}(u[k]) = 1 - (\sqrt{(u[k] - 1/3 R3)^2})/b3$$

$$\mu_{PS}(u[k]) = 1 - (\sqrt{(u[k] - 2/3 R3)^2})/b3$$

$$\mu_{PB}(u[k]) = 1 - (\sqrt{(u[k] + R3)^2})/b3$$

dengan rataaan R3 dan sebaran b3 = 1/3 R1

4.2.2.2. Penyusunan Aturan Dasar

Setelah dipahami perilaku pengaturannya, maka berdasarkan pemahaman tersebut penurunan kaidah atur secara heuristik dapat dilakukan, sebagaimana telah diuraikan pada Bab II. Penurunan prototipe kaidah atur dan penyempurnaannya secara tuntas maksimum menghasilkan suatu look up tabel yang disebut dengan tabel MacVicar-Whelan. Kaidah atur untuk sistem pengatur frekuensi menggunakan basis data yang telah disusun kemudian diturunkan sesuai pola pada tabel MacVicar-Whelan tersebut, sehingga diperoleh kaidah atur ini sebanyak 7 variabel $e_1 \times 7$ variabel $e_2 = 49$ kaidah atur. Tabel 4.2 menunjukkan penurunan kaidah atur dengan tabel MacVicar Whelan tersebut. Untuk menyatakan kaidah atur pada algoritma atur nomor kolom dan baris sangat bermanfaat [16].

Tabel 4.2. *Tabel Keputusan MacVicar-Welan*

		PERUBAHAN ERROR						
E R R O R		NB	NS	NK	NL	PK	PS	PB
	NB	NB	NB	NB	NB	NS	NK	NL
	NS	NB	NB	NB	NS	NK	NL	PK
	NK	NB	NB	NS	NK	NL	PK	PS
	NL	NB	NS	NK	NL	PK	PS	PB
	PK	NS	NK	NL	PK	PS	PB	PB
	PS	NK	NL	PK	PS	PB	PB	PB
	PB	NL	PK	PS	PB	PB	PB	PB

Bila tabel aturan dasar pada tabel 4.2 dijabarkan dengan pernyataan linguistik maka diperoleh seperangkat pernyataan linguistik fuzzy dengan nomor urutan sesuai nomor baris-kolom pada tabel keputusan diatas sebagai berikut [13] :

- R1 : Jika e1 adalah NB dan e2 adalah NB maka u adalah NB
- juga R2 : Jika e1 adalah NB dan e2 adalah NS maka u adalah NB
- juga R3 : Jika e1 adalah NB dan e2 adalah NK maka u adalah NB
- juga R4 : Jika e1 adalah NB dan e2 adalah NL maka u adalah NB
- juga R5 : Jika e1 adalah NB dan e2 adalah PK maka u adalah NS
- juga R6 : Jika e1 adalah NB dan e2 adalah PS maka u adalah NK
- juga R7 : Jika e1 adalah NB dan e2 adalah PB maka u adalah NL
- juga R8 : Jika e1 adalah NS dan e2 adalah NB maka u adalah NB
- juga R9 : Jika e1 adalah NS dan e2 adalah NS maka u adalah NB
- juga R10 : Jika e1 adalah NS dan e2 adalah NK maka u adalah NB
- juga R11 : Jika e1 adalah NS dan e2 adalah NL maka u adalah NS
- juga R12 : Jika e1 adalah NS dan e2 adalah PK maka u adalah NK
- juga R13 : Jika e1 adalah NS dan e2 adalah PS maka u adalah NL
- juga R14 : Jika e1 adalah NS dan e2 adalah PB maka u adalah PK
- juga R15 : Jika e1 adalah NK dan e2 adalah NB maka u adalah NB
- juga R16 : Jika e1 adalah NK dan e2 adalah NS maka u adalah NB
- juga R17 : Jika e1 adalah NK dan e2 adalah NK maka u adalah NS
- juga R18 : Jika e1 adalah NK dan e2 adalah NL maka u adalah NK
- juga R19 : Jika e1 adalah NK dan e2 adalah PK maka u adalah NL
- juga R20 : Jika e1 adalah NK dan e2 adalah PS maka u adalah PK
- juga R21 : Jika e1 adalah NK dan e2 adalah PB maka u adalah PS
- juga R22 : Jika e1 adalah NL dan e2 adalah NB maka u adalah NB
- juga R23 : Jika e1 adalah NL dan e2 adalah NS maka u adalah NS

- juga R24 : Jika e1 adalah NL dan e2 adalah NK maka u adalah NK
- juga R25 : Jika e1 adalah NL dan e2 adalah NL maka u adalah NL
- juga R26 : Jika e1 adalah NL dan e2 adalah PK maka u adalah PK
- juga R27 : Jika e1 adalah NL dan e2 adalah PS maka u adalah PS
- juga R28 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah PB maka u adalah NS
- juga R29 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah NB maka u adalah NS
- juga R30 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah NS maka u adalah NK
- juga R31 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah NK maka u adalah NL
- juga R32 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah NL maka u adalah PK
- juga R33 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah PK maka u adalah PS
- juga R34 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah PS maka u adalah PB
- juga R35 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah PB maka u adalah PB
- juga R36 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah NB maka u adalah NK
- juga R37 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah NS maka u adalah NL
- juga R38 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah NK maka u adalah PK
- juga R39 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah NL maka u adalah PS
- juga R40 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah PK maka u adalah PB
- juga R41 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah PS maka u adalah PB
- juga R42 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah PB maka u adalah PB
- juga R43 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah NB maka u adalah NL
- juga R44 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah NS maka u adalah PK
- juga R45 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah NK maka u adalah PS
- juga R46 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah NL maka u adalah PB

- juga R24 : Jika e1 adalah NL dan e2 adalah NK maka u adalah NK
- juga R25 : Jika e1 adalah NL dan e2 adalah NL maka u adalah NL
- juga R26 : Jika e1 adalah NL dan e2 adalah PK maka u adalah PK
- juga R27 : Jika e1 adalah NL dan e2 adalah PS maka u adalah PS
- juga R28 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah PB maka u adalah NS
- juga R29 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah NB maka u adalah NS
- juga R30 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah NS maka u adalah NK
- juga R31 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah NK maka u adalah NL
- juga R32 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah NL maka u adalah PK
- juga R33 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah PK maka u adalah PS
- juga R34 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah PS maka u adalah PB
- juga R35 : Jika e1 adalah PK dan e2 adalah PB maka u adalah PB
- juga R36 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah NB maka u adalah NK
- juga R37 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah NS maka u adalah NL
- juga R38 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah NK maka u adalah PK
- juga R39 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah NL maka u adalah PS
- juga R40 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah PK maka u adalah PB
- juga R41 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah PS maka u adalah PB
- juga R42 : Jika e1 adalah PS dan e2 adalah PB maka u adalah PB
- juga R43 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah NB maka u adalah NL
- juga R44 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah NS maka u adalah PK
- juga R45 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah NK maka u adalah PS
- juga R46 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah NL maka u adalah PB

juga R47 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah PK maka u adalah PB

juga R48 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah PS maka u adalah PB

juga R49 : Jika e1 adalah PB dan e2 adalah PB maka u adalah PB

4.2.2.3. Logika Pengambilan Keputusan

Secara praktis logika pengambilan keputusan adalah suatu prosedur untuk menghitung sinyal atur berdasarkan basis pengetahuan (basis data dan aturan dasar) yang sudah disusun. Prosedur ini berupa operasi matematika yaitu operasi mini Mamdani terhadap pasangan masukan error dan perubahan error yang akan menghasilkan kesimpulan sinyal atur u.

Bedasarkan basis pengetahuan yang sudah disusun ,setiap pasangan masukan error dan perubahan error akan menghasilkan kesimpulan sinyal atur yang merupakan keluaran yang diumpankan ke pengatur (kontroler).

4.2.2.4. Defuzzifikasi

Untuk mengubah sinyal atur fuzzy menjadi sinyal crisp, sinyal atur dari logika pengambilan keputusan dilakukan operasi defuzzifikasi. Metode defuzzifikasi yang akan digunakan adalah metode COA.

Sebagai contoh, misalkan Pengatur Logika Fuzzy mendapat masukan berupa error e1 yang berada dalam himpunan PK dan PS dan perubahan error e2 yang berada dalam himpunan NL dan PK, maka pada kedua masukan ini akan dilakukan proses sebagai berikut :

- Fuzzifikasi dan perhitungan nilai keanggotaan :

$$\mu_{PK}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k] - 1/3 R1)^2})/b1$$

$$\mu_{PS}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k] - 2/3 R1)^2})/b1$$

$$\mu_{NL}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k])^2})/b2$$

$$\mu_{PK}(e1[k]) = 1 - (\sqrt{(e1[k] - 1/3 R2)^2})/b2$$

Nilai himpunan keanggotaan lain adalah nol

- Operasi minimum produk kartesian pada aturan dasar yang dibangkitkan:

$$R32 : a32 = \mu_{PK}(e1) \wedge \mu_{NL}(e1)$$

$$R33 : a32 = \mu_{PK}(e1) \wedge \mu_{PK}(e1)$$

$$R39 : a32 = \mu_{PS}(e1) \wedge \mu_{NL}(e1)$$

$$R40 : a32 = \mu_{PS}(e1) \wedge \mu_{PK}(e1)$$

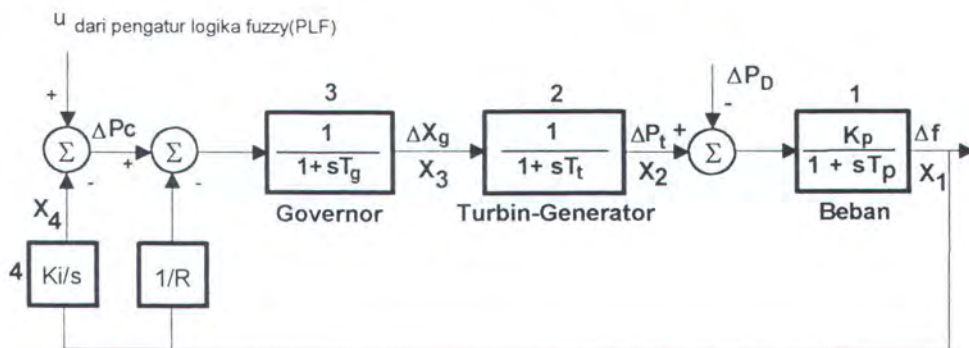
- Defuzzifikasi dengan metode Center Of Area (COA)

$$U_0 = \frac{\sum_{j=1}^{49} \alpha_j \cdot a_j}{\sum_{j=1}^{49} \alpha_j} \quad (4-3)$$

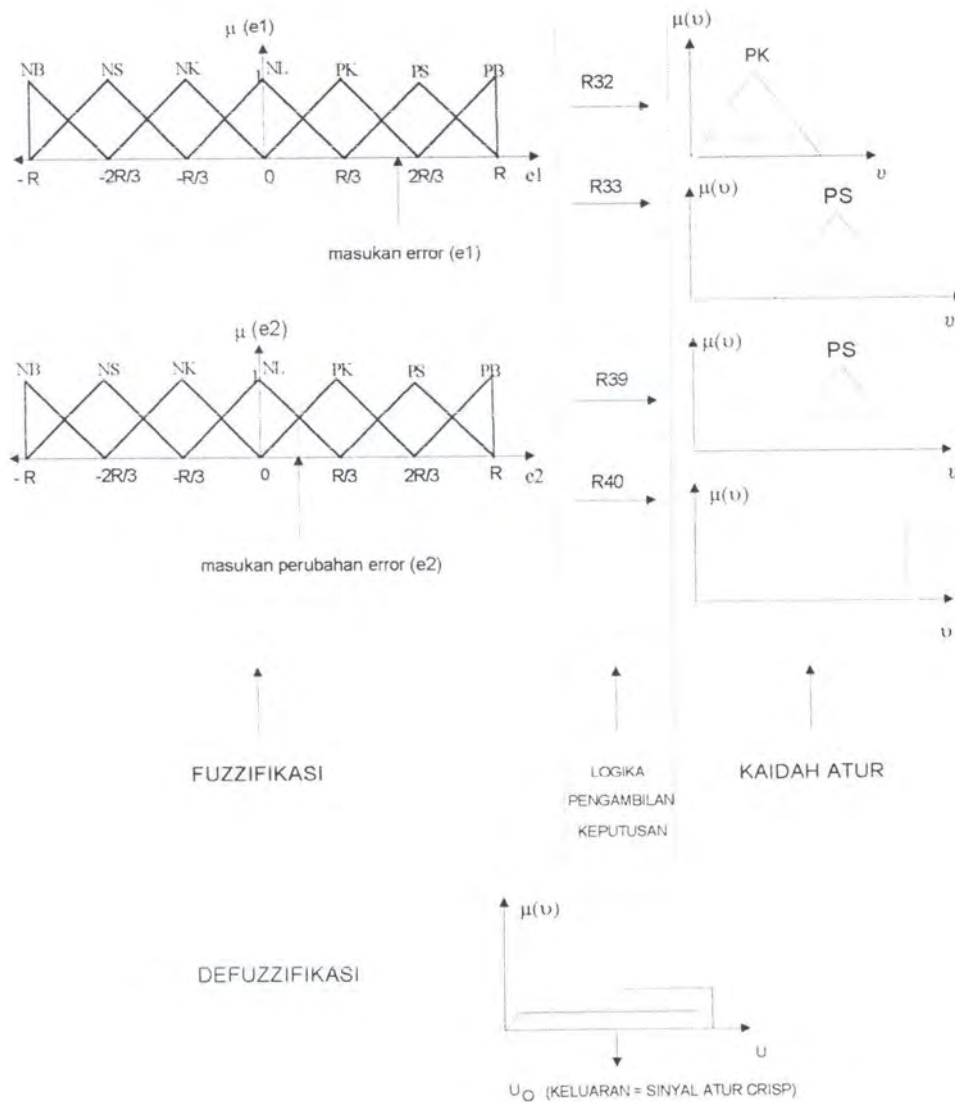
dengan a_j adalah rata-rata (u) sesuai nomor aturan dasarnya.

$$U_0 = \frac{\alpha_{32} a_{32} + \alpha_{33} a_{33} + \alpha_{39} a_{39} + \alpha_{40} a_{40}}{\alpha_{32} + \alpha_{33} + \alpha_{39} + \alpha_{40}} \quad (4-4)$$

4.3. PERSAMAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK



Gambar 4.8. Diagram Blok Pengatur Logika Fuzzy (PLF) Untuk Sistem Pengaturan Frekuensi.



Gambar 4.7. Penjelasan secara grafis metode berfikir Pengatur Logika Fuzzy(PLF)

U_0 merupakan sinyal atur crisp yang akan diberikan ke objek yang akan diatur dalam hal ini pengaturan frekuensi. Penjelasan secara grafis ditunjukkan pada gambar 4.7.

Dari diagram blok gambar 4.8. diatas dapat disusun persamaan-persamaan keadaan sistem pengaturan frekuensi dengan menggunakan Pengatur Logika Fuzzy sebagai berikut :

$$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t) + E\Delta P_D(t) \quad (4-5)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (4-6)$$

Dan susunan variabel keadaan untuk sistem keseluruhan, Δf sebagai perubahan frekuensi sistem, ΔP_g sebagai perubahan daya yang dikeluarkan generator, ΔX_g sebagai perubahan level katup, ΔP_c sebagai perubahan kecepatan.

Matrik persamaan keadaan sistem sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \\ \dot{X}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & \dots & a_{14} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{41} & \dots & \dots & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & \dots & b_{14} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{11} \\ \dots \\ \dots \\ U_{41} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & \dots & d_{14} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_{d11} \\ \dots \\ \dots \\ \Delta P_{d41} \end{bmatrix}$$

Blok 1 :

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{K_p}{1+sT_p}(X_2 - \Delta P_D) \\ X_1 + T_p \dot{X}_1 &= K_p(X_2 - \Delta P_D) \\ \dot{X}_1 &= -\frac{1}{T_p}X_1 + \frac{K_p}{T_p}X_2 - \frac{K_p}{T_p}\Delta P_D \end{aligned} \quad (4-7)$$

Blok 2 :

$$\begin{aligned} X_2 &= \frac{1}{1+sT_t}(X_3) \\ X_2 + T_t \dot{X}_2 &= X_3 \\ \dot{X}_2 &= -\frac{1}{T_t}X_2 + \frac{1}{T_t}X_3 \end{aligned} \quad (4-8)$$

Blok 3 :

$$X_3 = \frac{1}{1+sT_g}(-\frac{1}{R}X_1 - X_4 + U)$$

$$X_3 + T_g\dot{X}_3 = -\frac{1}{R}X_1 - X_4 + U$$

$$\dot{X}_3 = -\frac{1}{T_g}X_1 - \frac{1}{T_g}X_3 - \frac{1}{T_g}X_4 + \frac{1}{T_g}U \quad (4-9)$$

Blok 4 :

$$X_4 = \frac{K_i}{s}(X_1)$$

$$\dot{X}_4 = K_i \cdot X_1 \quad (4-10)$$

Harga komponen matrik variabel keadaan [A] dapat dituliskan seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned} a(1,1) &= -\frac{1}{T_p} ; & a(1,2) &= \frac{K_p}{T_p} ; & a(1,3) &= 0 ; & a(1,4) &= 0 ; \\ a(2,1) &= 0 ; & a(2,2) &= -\frac{1}{T_t} ; & a(2,3) &= \frac{1}{T_t} ; & a(2,4) &= 0 ; \\ a(3,1) &= -\frac{1}{RT_g} ; & a(3,2) &= 0 ; & a(3,3) &= -\frac{1}{T_g} ; & a(3,4) &= -\frac{1}{T_g} ; \\ a(4,1) &= K_i ; & a(4,2) &= 0 ; & a(4,3) &= 0 ; & a(4,4) &= 0 ; \end{aligned}$$

Kemudian ditulis dalam bentuk matrik :

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_p} & \frac{K_p}{T_p} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_t} & \frac{1}{T_t} & 0 \\ -\frac{1}{RT_g} & 0 & -\frac{1}{T_g} & -\frac{1}{T_g} \\ K_i & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Persamaan keadaan untuk mendapatkan matrik B dapat diturunkan dengan melihat variabel u pada persamaan keadaan untuk mendapatkan matrik A sebagai berikut :

$$b(1,1) = 0 ; \quad b(1,2) = 0 ; \quad b(1,3) = \frac{1}{T_g} ; \quad b(1,4) = 0 ;$$

Dalam bentuk matrik :

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T_g} & 0 \end{bmatrix}$$

Persamaan keadaan untuk mendapatkan matrik E dapat diturunkan dengan melihat variabel ΔP_D pada persamaan keadaan untuk mendapatkan matrik A sebagai berikut :

$$e(1, 1) = -\frac{K_p}{T_p} ; e(1, 2) = 0 ; e(1, 3) = 0 ; e(1, 4) = 0 ;$$

Dalam bentuk matrik :

$$E = \begin{bmatrix} -\frac{K_p}{T_p} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Bentuk umum persamaan matrik C diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} Y1 \\ Y2 \\ Y3 \\ Y4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C11 & \dots & \dots & C14 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \\ X4 \end{bmatrix}$$

Komponen matrik C diperoleh sebagai berikut :

$$C(1, 1) = 1 ; C(1, 2) = 0 ; C(1, 3) = 0 ; C(1, 4) = 0 ;$$

Dalam bentuk matrik :

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Bab Lima
Simulasi dan Analisis
Terhadap Gangguan
Pada PLTU Paiton

5



*" Kepunyaan Allah-lah yang ada di langit
dan di bumi , dan kepada Allah-lah
dikembalikan segala urusan"*

(QS. Ali Imran : 102)

BAB 5

SIMULASI DAN ANALISIS TERHADAP GANGGUAN PADA PLTU PAITON

Hasil perancangan yang berupa perangkat lunak akan diterapkan pada sistem untuk menunjukkan kemampuan Pengatur Logika Fuzzy (PLF) dalam melakukan proses pengaturan. Simulasi komputer ini menggunakan bahasa pemograman Turbo Pascal 7.0.

5.1. PARAMETER-PARAMETER PENGATUR

Parameter-parameter yang berperan pada pengatur fuzzy adalah :

- Jangkauan semesta pembicaraan error(e1), perubahan error(e2), dan perubahan sinyal atur (u) adalah [-R , R]
- Rataan variabel-variabel linguistik error(e1), perubahan error(e2) dan perubahan sinyal atur yaitu R1, R2, RuF.
- Sebaran variabel-variabel linguistik error(e1) dan perubahan error (e2) yaitu b1 dan b2.
- Variabel-variabel linguistik error(e1) perubahan error(e2) dan perubahan sinyal atur yang digunakan adalah 7 variabel linguistik, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.1 [16].
- Jangkauan semesta pembicaraan error yang dinormalkan diberi harga pada masukan maksimum dan minimum adalah [-1 Hz, 1 Hz].

- Jangkauan semesta pembicaraan perubahan error yang dinormalkan diberi harga pada masukan maksimum dan minimum adalah [-2 Hz, 2 Hz];
- Jangkauan semesta pembicaraan perubahan sinyal atur yang dinormalkan diberi harga pada masukan maksimum dan minimum adalah [-1 Hz, 1 Hz];
- Waktu penculikan T_s ditetapkan 0.05 detik.

Tabel 5.1 Tabel keputusan perubahan sinyal atur

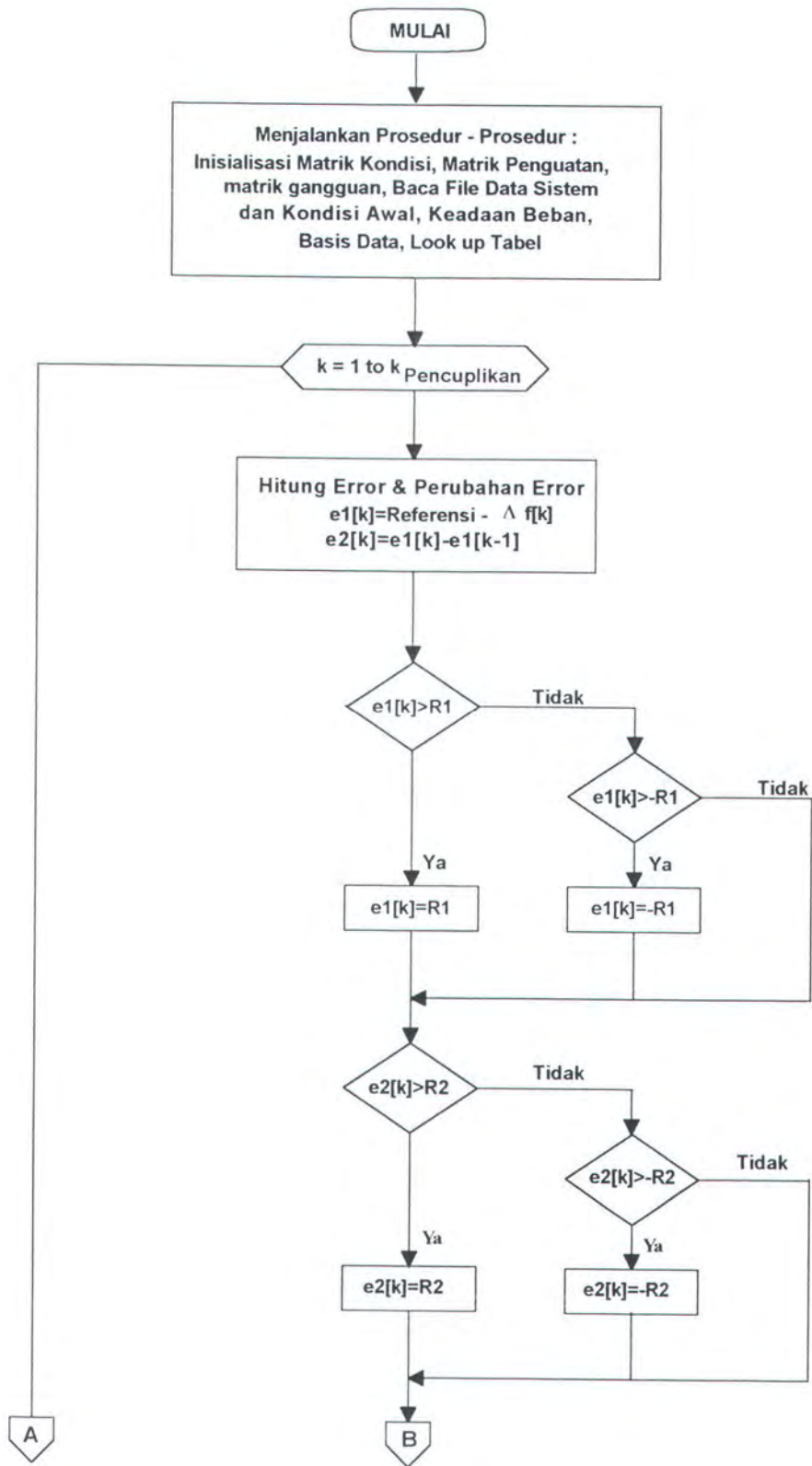
E R R O R	PERUBAHAN ERROR							
		NB	NS	NK	NL	PK	PS	PB
	NB	NB	NB	NB	NB	NS	NK	NL
	NS	NS	NB	NB	NS	NK	NL	PK
	NK	NK	NB	NB	NS	NK	NL	PK
	NL	NL	NB	NS	NK	NL	PK	PS
	PK	PK	NS	NK	NL	PK	PS	PB
	PS	PS	NK	NL	PK	PS	PB	PB
	PB	PB	NL	PK	PS	PB	PB	PB

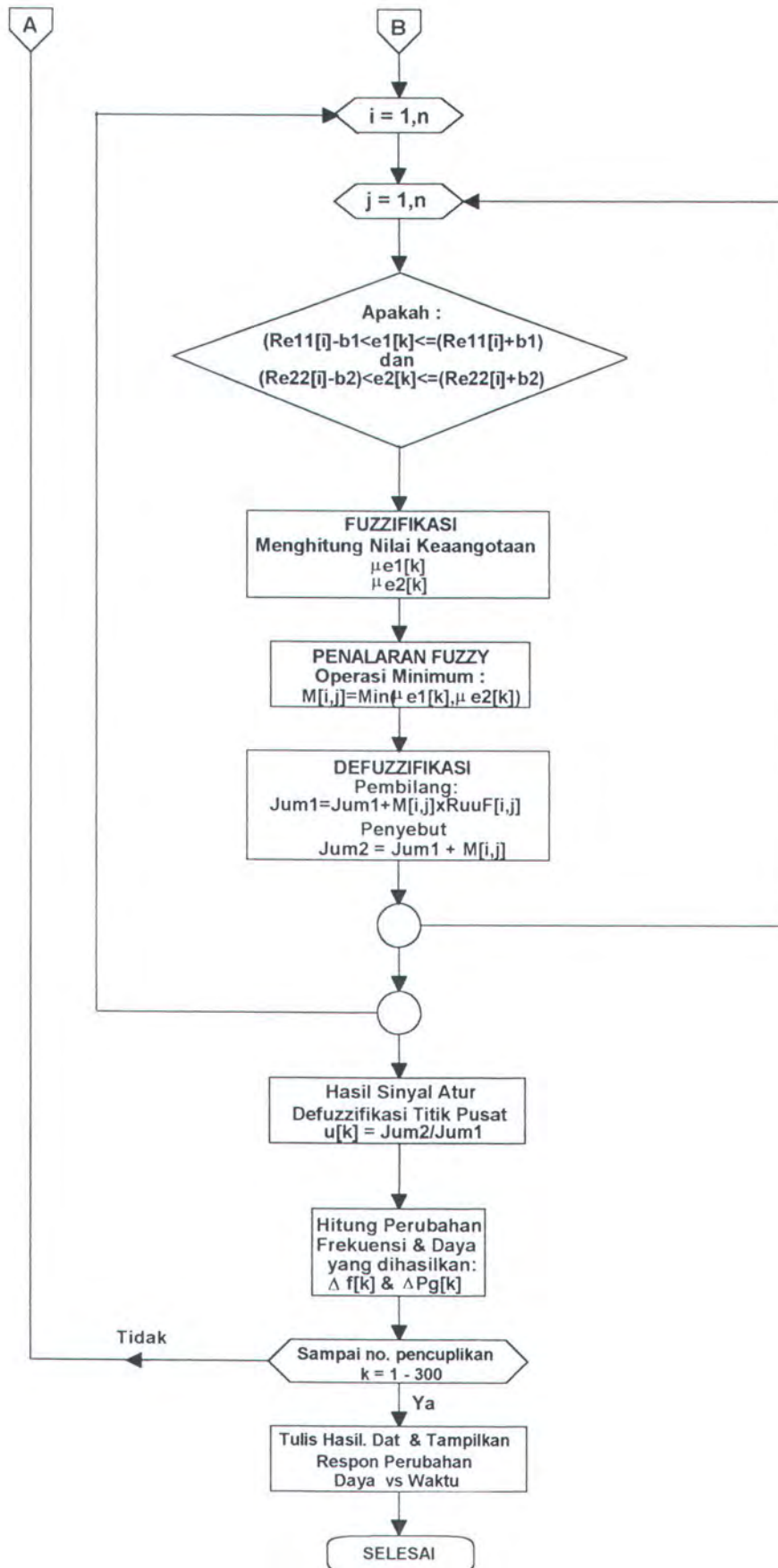
5.2. DATA

Harga parameter-parameter mesin pada sistem pembangkit yang diperlukan untuk simulasi adalah [2] :

Rating MW	400
Konstanta Waktu Governor (T_g)	0.08
Konstanta Waktu Turbin Uap (T_t)	0.3
Konstanta Waktu Sistem (T_p)	100
Konstanta Gain Sistem (K_p)	20
Speed Droop Governor (R)	2.4
Konstanta Gain Integrator (K_i)	0.5
Waktu Sampling	0.05

5.3. DIAGRAM ALIR PROGRAM SIMULASI





5.4. SIMULASI

Pada sistem yang kondisinya tidak mengalami gangguan, maka masukan hanya berasal dari sinyal uji. Dasar perbandingan antara suatu sistem dengan sistem lainnya disini dapat disusun dengan menetapkan sinyal uji-sinyal uji tertentu. Penggunaan sinyal uji ini dapat dibenarkan karena adanya suatu korelasi antara karakteristik sistem terhadap sinyal masukan uji tertentu dan kemampuan sistem untuk mengikuti sinyal masukan yang sebenarnya.

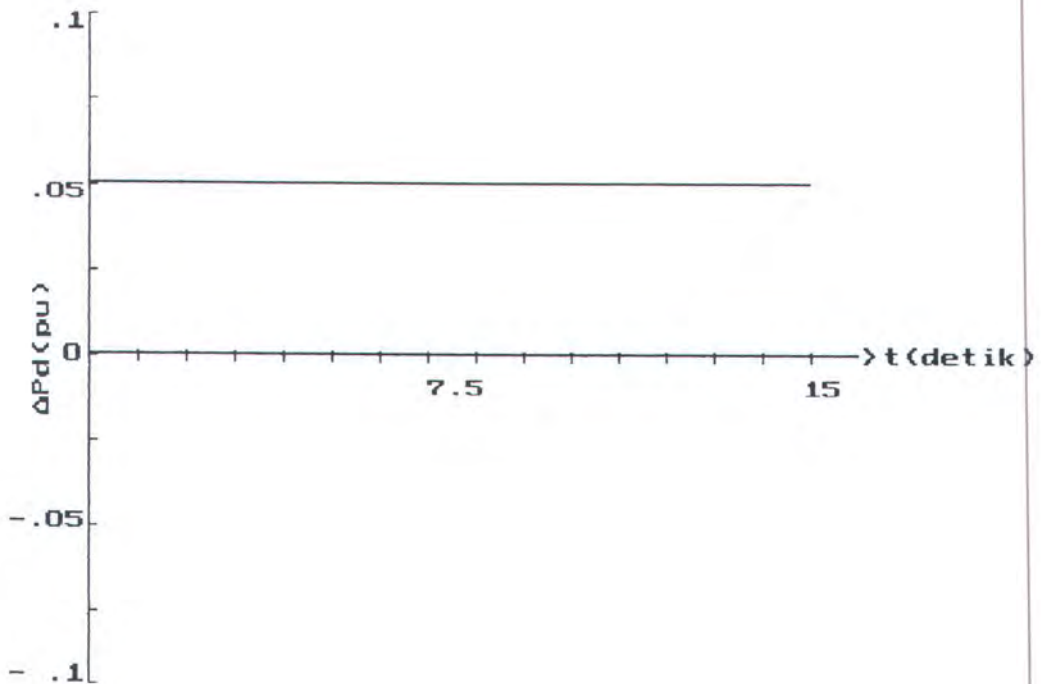
Pemilihan sinyal uji yang digunakan disini adalah sinyal uji fungsi step, fungsi tangga, fungsi segitiga dan fungsi sinus. Pemberian sinyal gangguan disini meliputi perubahan beban disekitar kestabilan dinamis, yaitu perubahan-perubahan beban yang berpengaruh kecil terhadap kestabilan. Perubahan-perubahan kecil tersebut dapat merupakan penambahan atau pengurangan beban sebesar 5 %.

Dari diagram alir program simulasi dapat dijelaskan sebagai berikut :

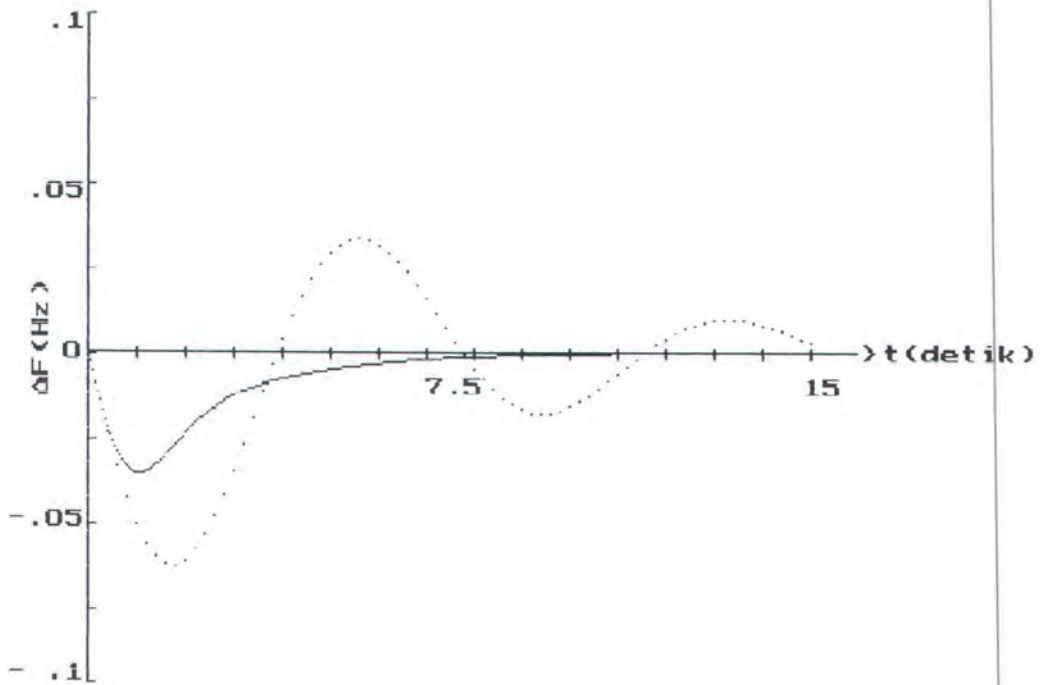
- Membaca data masukan parameter-parameter mesin.
- Inisialisasi harga-harga parameter-parameter mesin kedalam matrik kondisi, matrik penguatan dan matrik penguatan. Membaca file data sistem, kondisi awal, keadaan beban, basis data, look up tabel.
- Menghitung besarnya error (e_1) = referensi-simpangan sinyal keluaran dan perubahan error (e_2) = error sekarang-error sebelumnya. Fungsi keanggotaan fuzzy untuk error, perubahan error dan sinyal atur adalah fungsi keanggotaan segitiga.

- Menghitung hasil sinyal atur dengan metode Fuzzifikasi Center Of Area (COA)
- Prosedur perhitungan untuk perubahan frekuensi (Δf) dengan menggunakan perhitungan waktu diskrit yang diubah dari persamaan keadaan.
- Proses selanjutnya yaitu menampilkan hasil dari simulasi. Hasil ini ditunjukkan dengan angka dan grafik respon.
- Untuk membatasi program simulasi dilakukan dengan pembatasan iterasi sebanyak 300 kali.

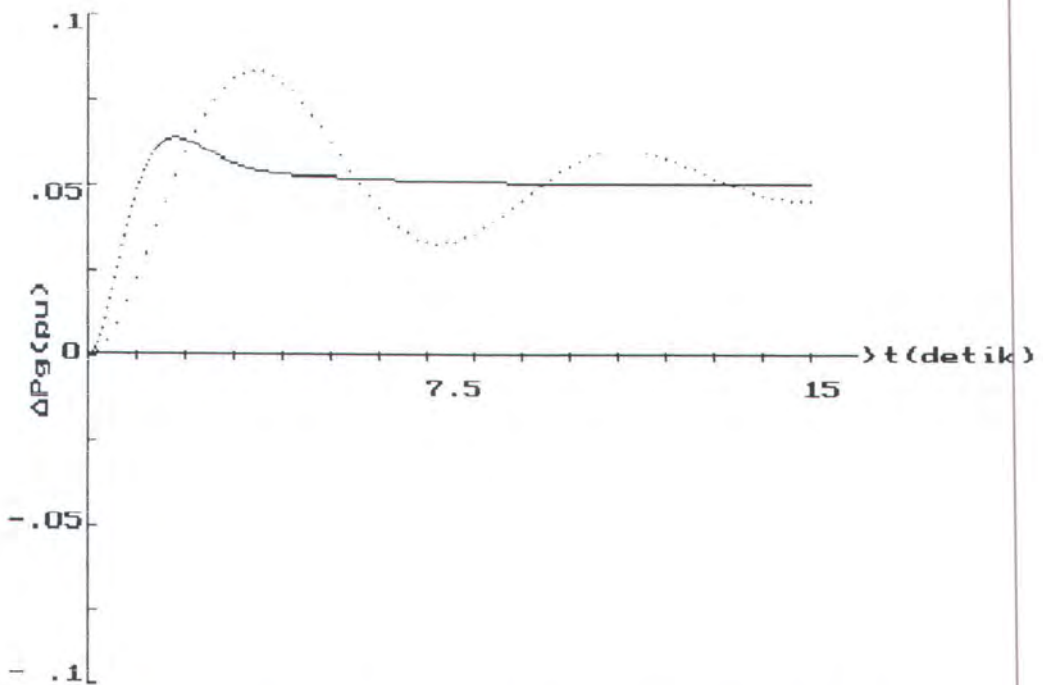
5.5. HASIL SIMULASI



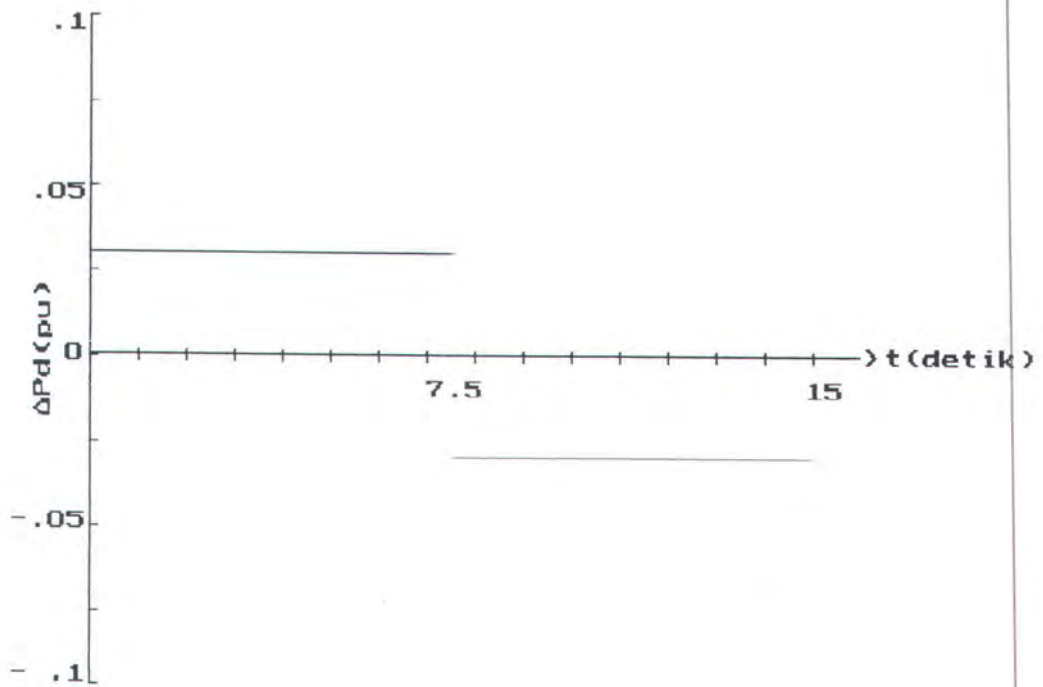
Gambar 5.1. Sinyal masukan perubahan beban fungsi step



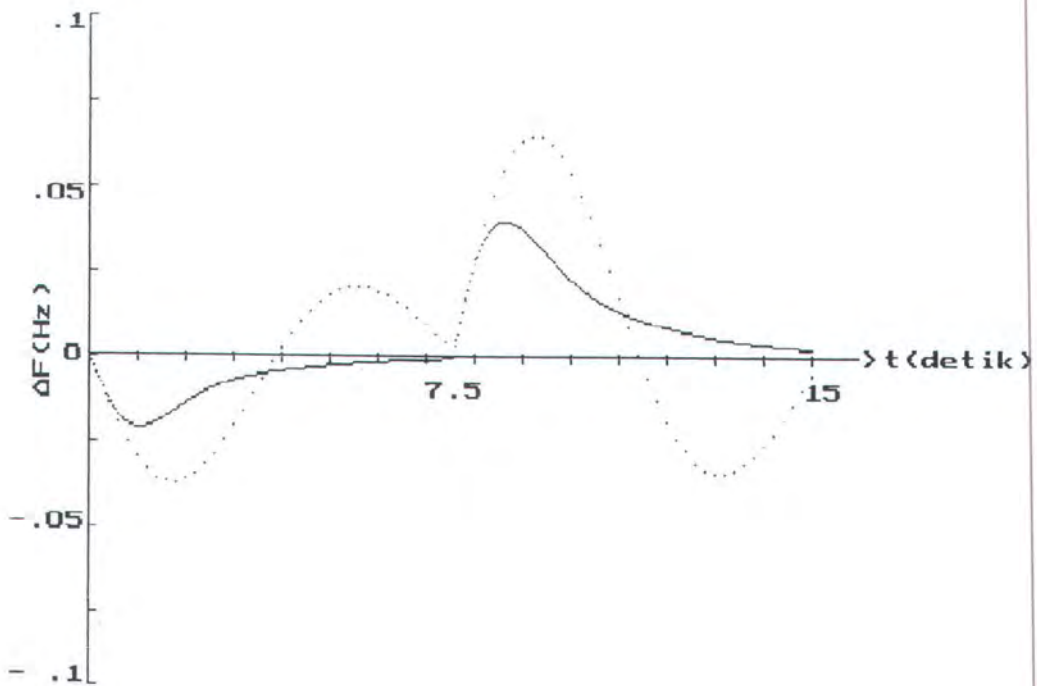
Gambar 5.2. Tanggapan waktu perubahan frekuensi terhadap perubahan beban fungsi step, (— Pengatur Logika Fuzzy, ··· Proporsional Integral)



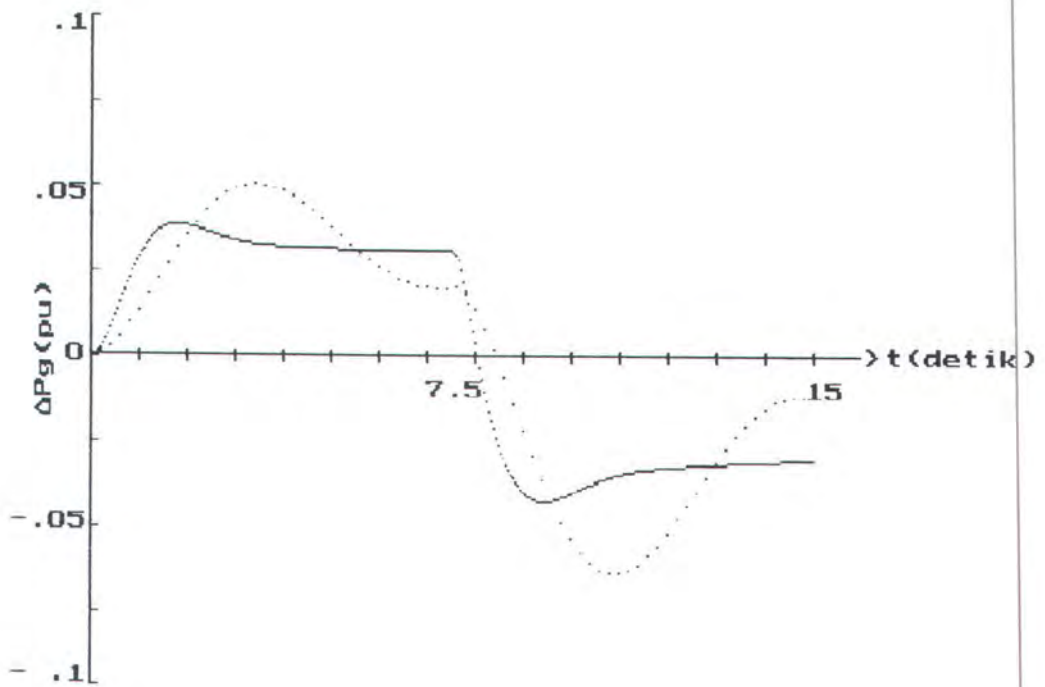
Gambar 5.3. Tanggapan waktu perubahan daya pembangkit terhadap perubahan beban fungsi step, (— Pengatur Logika Fuzzy, ··· Proporsional Integral)



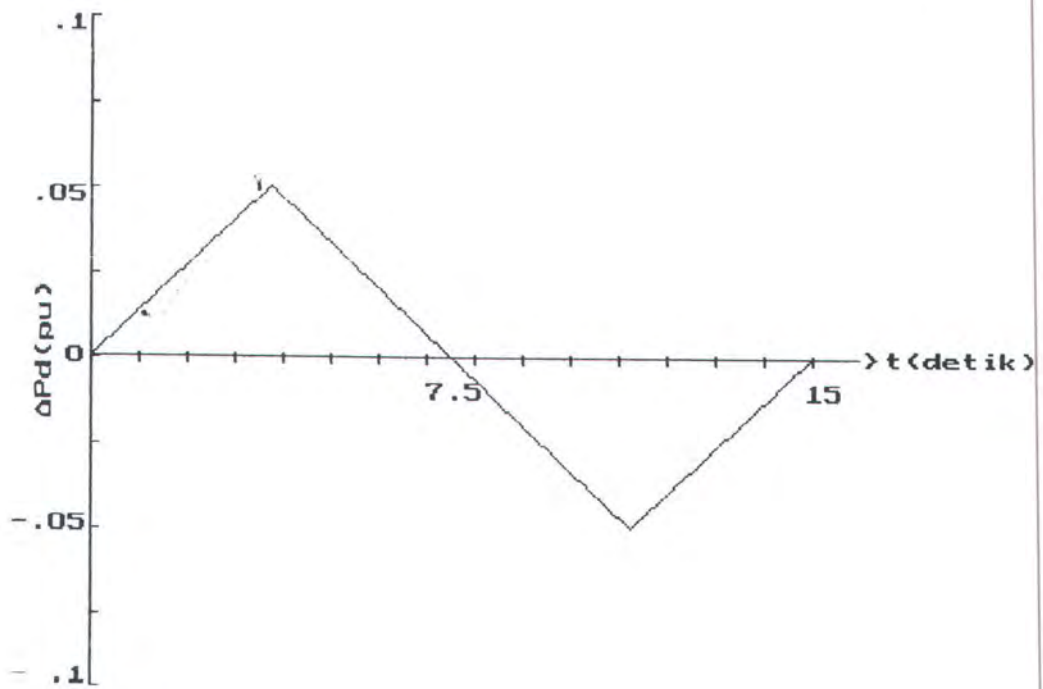
Gambar 5.4. Sinyal masukan perubahan beban fungsi tangga



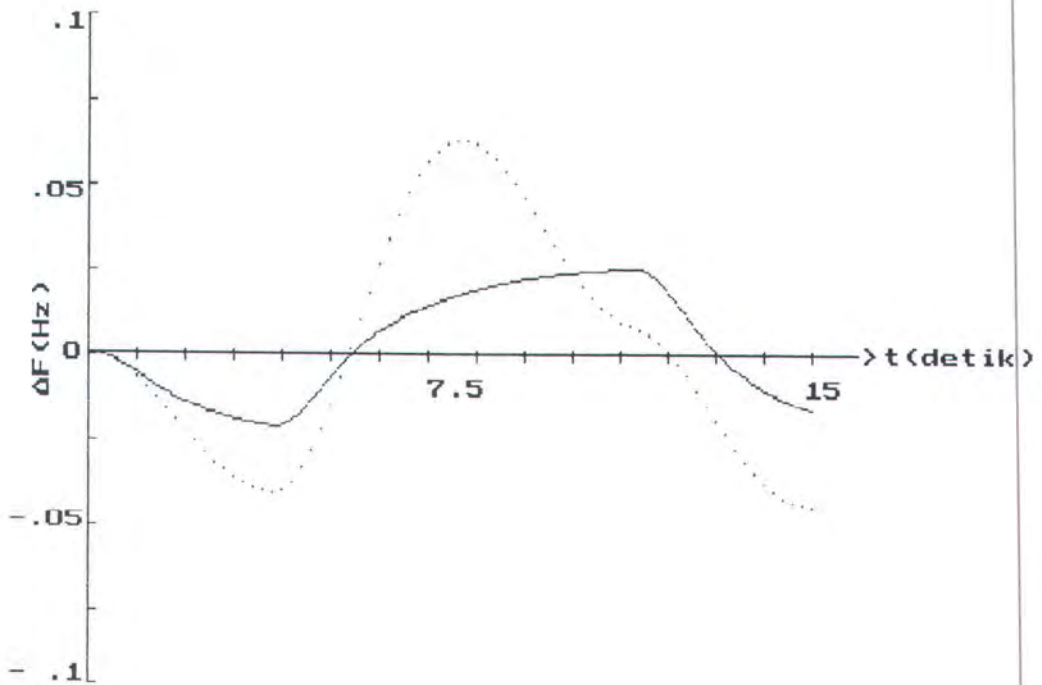
Gambar 5.5. Tanggapan waktu perubahan frkuensi terhadap perubahan beban fungsi tangga, (— Pengatur Logika Fuzzy, ··· Proporsional Integral)



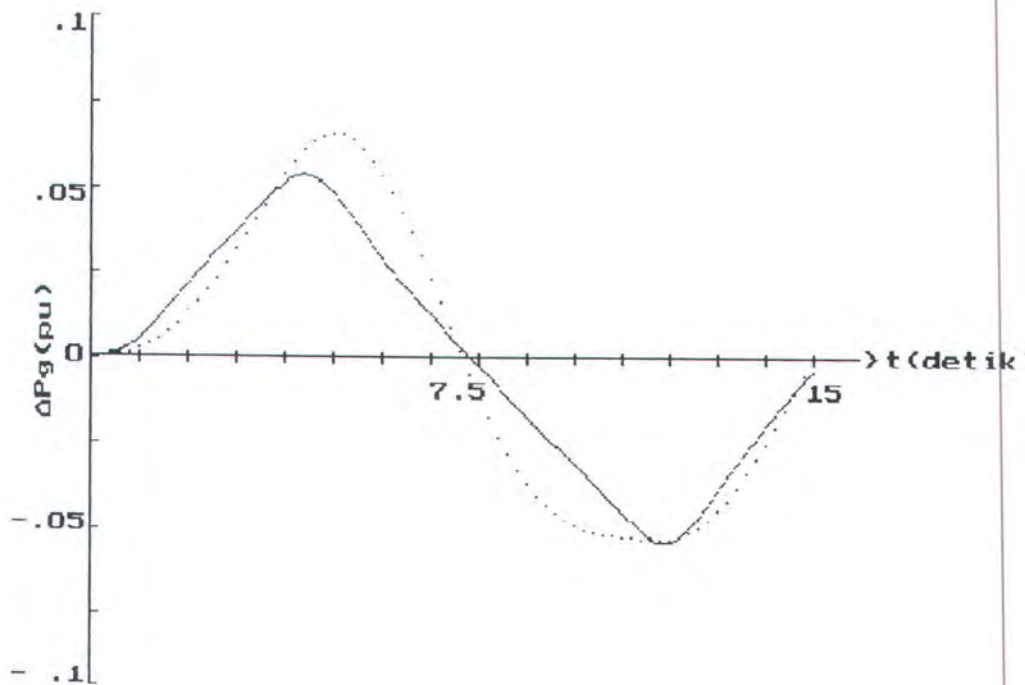
Gambar 5.6. Tanggapan waktu perubahan daya pembangkit terhadap perubahan beban fungsi tangga, (— Pengatur Logika Fuzzy, ··· Proporsional Integral)



Gambar 5.7. Sinyal masukan perubahan beban fungsi segitiga



Gambar 5.8. Tanggapan waktu perubahan frekuensi terhadap perubahan beban fungsi segitiga, (— Pengatur Logika Fuzzy, ··· Proporsional Integral)



Gambar 5.9. Tanggapan waktu perubahan daya pembangkit terhadap perubahan beban fungsi segitiga, (— Pengatur Logika Fuzzy, ··· Proporsional Integral)

5.6. ANALISIS

Untuk menguji kinerja dari Pengatur Logika Fuzzy (PLF), dilakukan analisis grafik dan data dari hasil simulasi. Hasil simulasi itu berupa data grafik dan data numerik dari sinyal atur, perubahan frekuensi, perubahan daya yang dibangkitkan generator dan perubahan beban.

Dari beberapa gambar hasil simulasi dapat dinalisa sebagai berikut :

1. Untuk grafik tanggapan frekuensi dengan sinyal gangguan berupa fungsi step $0.05 u(t)$ diperoleh bahwa pada pengatur logika fuzzy tidak terjadi lagi lewatan kedua seperti pada pengatur konvensional. Lewatan pada PLF terjadi pada waktu 1.05 detik dengan penurunan frekuensi sebesar 0.03566 Hz, sedangkan pada pengatur konvensional terjadi pada waktu 1.75 detik dengan penurunan frekuensi sebesar 0.06259 Hz. Dengan demikian dikatakan PLF mempercepat respon dari sistem, hal ini disebabkan oleh adanya penambahan sinyal atur u . Sedangkan untuk perubahan daya yang dibangkitkan generator terhadap waktu lonjakan maksimum untuk PLF terjadi pada 1.8 detik dengan penambahan daya sebesar 0.06329 pu, sedangkan untuk pengatur konvensional terjadi pada 3.35 detik dengan penambahan daya sebesar 0.08286 pu. Pada PLF tidak terjadi lagi lewatan kedua dan mencapai keadaan steady state sedangkan konvensional masih terjadi lewatan.
2. Untuk sinyal gangguan berupa fungsi tangga maka perubahan frekuensi dengan Pengatur Logika Fuzzy berubah sesuai dengan kenaikan dan penurunan beban, perubahan kenaikan maksimum frekuensi terjadi pada waktu 8.6 detik sebesar 0.03938 Hz, sedangkan untuk pengatur konvensional terjadi pada

waktu 9.2 detik dengan kenaikan frekuensi maksimum sebesar 0.06456 Hz. Untuk perubahan daya yang dibangkitkan generator, PLF hampir dapat mengikuti perubahan beban sehingga perubahan daya pembangkit hanya bergeser sedikit, hal ini dapat dilihat apabila terjadi penambahan beban sebesar 0.03 pu, maka daya yang dibangkitkan generator sebesar 0.03105 pu dengan waktu 1.10 detik, sedang pengatur konvensional sebesar 0.01537 pu dengan waktu yang sama. Apabila terjadi pengurangan beban sebesar 0.03 pu, maka daya yang diturunkan generator sebesar 0.03034 pu dengan waktu 7.55 detik, sedang pengatur konvensional sebesar 0.01970 pu dengan waktu yang sama.

3. Untuk sinyal gangguan dengan fungsi segitiga, perubahan frekuensi maksimum untuk PLF terjadi kenaikan sebesar 0.02521 Hz, pada waktu 11.30 detik, sedangkan konvensional sebesar 0.06242 Hz, pada waktu 7.70 Hz. Perubahan daya pembangkit generator pada PLF juga berusaha mendekati besarnya perubahan beban, hal ini dapat dilihat pada gambar 5.9. Kenaikan daya maksimum adalah sebesar 0.05333 pu pada waktu 4.35, sedangkan konvensional sebesar 0.06529 pu pada waktu 5.00 detik. Besarnya pengurangan daya maksimum untuk PLF dibandingkan konvensional adalah sebesar 0.01196 pu.

Bab Enam Penutup **6**



*" Hai orang-orang yang beriman jadikanlah sabar dan
sholat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta
orang-orang yang sabar "*

(QS. Al-Baqarah : 153)

BAB 6

P E N U T U P

Sebagai penutup pembahasan tugas akhir ini akan dipaparkan kesimpulan dari seluruh rangkaian pelaksanaan tugas akhir ini, yang berintikan usaha untuk mewujudkan pengendalian frekuensi dengan menggunakan logika fuzzy pada PLTU Paiton. Disamping itu akan juga dikemukakan beberapa saran untuk mengarahkan pengembangan lebih lanjut perancangan dengan metodologi Pengatur Logika Fuzzy ini.

6.1. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

- Pengatur Logika Fuzzy (PLF) layak diterapkan pada sistem pengendalian frekuensi, karena memberikan kinerja sistem yang lebih baik dari pada kinerja sistem pada metode konvensional (PI).
- Perbandingan kinerja sistem berpengatur PLF dengan sistem berpengatur PI menunjukkan sistem dengan PLF mempunyai kelebihan dalam hal konsistensi pencapaian keadaan steady state. Hal ini sangat diharapkan dalam sistem pembangkitan daya untuk mengatasi perubahan frekuensi yang terjadi akibat perubahan daya beban.
- Ditinjau dari segi perancangan dan penerapannya secara umum, penggunaan metodologi PLF memberi beberapa keuntungan, yaitu :

- Perancangan PLF tidak memerlukan model matematis dari plant.
 - Fleksibel dalam menentukan parameter-parameter perancangan yang meliputi variabel masukan dan keluaran, pembagian ruang, fungsi kenggotaan, penentuan kaidah atur dan mekanisme inferensi, sehingga memungkinkan terpenuhinya pertimbangan kerekayasaan tentang kondisi objek atur.
 - Penerapannya dapat diwujudkan dalam bentuk look-up tabel yang mempunyai waktu eksekusi sangat kecil.
- Penggunaan metodologi PLF juga mempunyai kelemahan, karena :
- Perancangannya memerlukan pengenalan secara mendalam tentang perilaku objek atur dan perilaku pengaturannya.
 - Tidak mempunyai prosedur sistematis dalam penentuan dan penalaan parameter-parameter penguatannya, sehingga memerlukan prosedur coba-coba.

6.2. SARAN

Banyak hal yang menarik untuk dikaji dari perancangan dan penerapan PLF. Salah satu segi yang menarik adalah perilaku PLF yang tidak linear. Sudah banyak peneliti yang menyinggung hal ini, namun jarang yang merancang secara khusus untuk kegunaan tertentu. Oleh karena itu untuk pengembangan lebih lanjut disarankan untuk merancang secara khusus ketidaklinearan ini dan menerapkannya pada plant yang tidak linear pula. Pengembangan lain yang juga cukup menarik adalah menerapkan pengatur logika fuzzy ini pada sistem dengan multi input - multi output (MIMO).

Daftar Pustaka



" Demi Masa, sesungguhnya manusia itu dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan melakukan amal saleh dan nasehat-menasehati supaya (menjalankan) kebenaran dan nasehat-menasehati supaya sabar (tabah menghadapi kesulitan) "
(QS. Al-Ashr : 1-3)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anderson, P.M, and Fuoad, A. A, "**Power System Control and Stability**", The Iowa State University Press, Iowa, 1977.
- [2] Anjan, Base and Ilyas Atiyyah, "**Regulation Error in Load Frequency Control**", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pass-99, No. 2 March/Appril 1980
- [3] Chien Lee, Chuen, " **Fuzzy Logic in Control System**", Fuzzy Logic Controller Part I, IEE Transaction on System, Man and Cybernetics, Vol 20 No. 2 Maret / April 1990.
- [4] Chien Lee, Chuen, " **Fuzzy Logic in Control System**", Fuzzy Logic Controller Part II, IEE Transaction on System, Man and Cybernetics, Vol 20 No. 2 Maret / April 1990.
- [5] Harris, C. J., Moore, C. G., & Brown, M. "**Intelligent Control**", **Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets**, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1993.
- [6] Jamshidi, Mohammad , Vadiiee, Nader , Ross, Tymoty J., "**Fuzzy Logic And Cintrol**", Prentice Hall International, New Jersey, 1993.
- [7] Klir, George J., Folger, Tina A., "**Fuzzy Sets, Uncertainty, And Information**", Prentice Hall International, New York, 1988.
- [8] Mohammad Rohmanuddin "**Algoritma Sederhana Suatu Pengontrol Logika Fuzzy dan Aplikasinya Pada Pengaturan Posisi**", Seminar AI'94, UPT Komputer PIKSI-ITB.
- [9] Nagrath IJ, and Kothari. D.P, "**Modern Power System Analisis**", Tata Mc. Graw-Hill Publising Company Limited-New Delhi, 1982.
- [10] Ogata, Katsuhiko, "**Modern Control Engineering**", Prentice Hall of India, New Delhi, 1991.
- [11] Pan, C.T and C.M. Liaw, " **An Adaptive Controller For Power System Load-Frequency Control** ", IEEE Transaction on Power System, Vol 4, No. 1, February 1989.

- [12] Perusahaan Listrik Negara, "**Pusat Pengatur Beban**", Bidang operasi aktuil.
- [13] Sugeno, Michio, "**Industrial Application of Fuzzy Control**", Elseiver Science Ublishers, 1991.
- [14] Stagg, Glenn W. and Ahmed H. El Abiad, "**Computer Methods In Power Systems Analysis**", McGraw-Hill International, Singapore, 1988.
- [15] Vadhera S.S, "**Power System Analysis and Stability**", 1st edition, Khanna Publisher, New Delhi, 1981.
- [16] Wok L.K., Tang & Mulhaolland, Robert J , "**Comparing Fuzzy Logic With Classical Controller**", IEEE Transaction On System, Man and Cybernetics, Vol 21 No. 4 Juli/ Agustus 1991.
- [17] Wood, Allen J., and Bruce F. Wollenberg, "**Power Generation, Operation And Control**", John Wiley & Sons, 1984.
- [18] Yan, Jun, Ryan, Michael, Power, James , "**Using Fuzzy Logic**" Prentice Hall International (UK) Limited London, 1994.

Lampiran



*"Adapun orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal saleh,
maka mereka di dalam taman (syurga) bergembira."*

(QS. Ar Ruum : 15)

Lampiran A :

```

{*****}
{ Program Perhitungan Perubahan Frekuensi Dengan Metoda Logika Fuzzy }
{*****}

```

```
Uses Dos, Crt, Graph;
```

```
Const
```

```

n1=10;
n2=10;
n3=500;

```

```
Type
```

```
Mat1=array[1..n1,1..n2] of real;
```

```
Mat2=array[1..n3] of real;
```

```
Var
```

```

xx,yy,k1,k2,k3,k4,k5,k6,k7,k8,k9,k10 : integer;
A,A2,A3,A4,B,C,F,G,D,X,Y : mat1;
df,dfi,P,Pi,Xv,Xvi,Int,integ,u,ui,Pd,e1,e2 : mat2;
k,k11,i,j,l,n,n7 : integer;
Tg,Tt,Tp,Kp,R,Ki,Ts,Ref,sinus : real;
R1,R11,R2,R22,Ru,Ruu,b1,b2,urut1,jum1,jum2 : real;
Ruf,M : mat1;
Re1,Re2,ue1,ue2 : mat2;
grDriver,grMode,errCode : integer;
maxtime1,maxtime2,maxfuzy,maxintegral,beban,
time,ytengah,fuzy,fuzy1,integral,integral1 : integer;

```

```
function IntToStr(I: Longint): String;
```

```
var
```

```
S: string[11];
```

```
Begin
```

```
Str(I, S);
```

```
IntToStr := S;
```

```
end;
```

```
function RealToStr(R: real): String;
```

```
var
```

```
S: string[7];
```

```
Begin
```

```
Str(R, S);
```

```
RealToStr := S;
```

```
end;
```

```
{Fungsi Pemangkatan}
```

```
Function Pangkat(X,N:double):double;
```

```
Begin
```

```
Pangkat:=exp(ln(X)*N);
```

```
end;
```

```
{ Membaca Data Sistem Dan Kondisi Awal }
```

```
Procedure Data(Var Tgovernor,Tturbine,Tsistem,Ksistem,
```

```
Rsistem,Kintegrator,Tsampling:real;
```

```
Var sinyal,dfrekuensi,dfrekint,ddaya,ddayaint,
```

```
dgovernor,dgoverint,dint,dInteg,dbeban :mat2);
```

```
Var
```

```
D:text;
```



```

ch1,ch2,ch3,ch4,ch5,ch6,ch7,ch8,ch9,ch10,
ch11,ch12,ch13,ch14,ch15,ch16,ch17 :string[8];
Begin
  ch1:='Tg'; ch2:='Tt'; ch3:='Tp';
  ch4:='Kp'; ch5:='R'; ch6:='Ki';
  ch7:='Ts'; ch8:='uo'; ch9:='dfo';
  ch10:='dft'; ch11:='dPo'; ch12:='dPi'';
  ch13:='dXvo';ch14:='dXvi'; ch15:='dInt';
  ch16:='dInteg'; ch17:='dbeban';
  Assign(D,'c:\pascal\Data.dat');
  Reset(D);
  readln(D,ch1,Tgovernor);
  readln(D,ch2,Tturbine);
  readln(D,ch3,Tsistem);
  readln(D,ch4,Ksistem);
  readln(D,ch5,Rspeed);
  readln(D,ch6,Kintegrator);
  readln(D,ch7,Tsampling);
  readln(D,ch8,sinyal[1]);
  readln(D,ch9,dfrekuensi[1]);
  readln(D,ch10,dfrekint[1]);
  readln(D,ch11,ddaya[1]);
  readln(D,ch12,ddayaint[1]);
  readln(D,ch13,dgovernor[1]);
  readln(D,ch14,dgoverint[1]);
  readln(D,ch15,dInt[1]);
  readln(D,ch16,dInteg[1]);
  readln(D,ch17,dbeban[1]);
  close(D);
end;

{Inisial Matrik A}
Procedure InisialA(Tg,Tt,Tp,Kp,R,Ki : real;
  Var A:Mat1);
Begin
  A[1,1] := -1/Tp; A[1,2] := Kp/Tp; A[1,3] := 0.0; A[1,4] := 0.0;
  A[2,1] := 0.0; A[2,2] := -1/Tt; A[2,3] := 1/Tt; A[2,4] := 0.0;
  A[3,1] := -1/(R*Tg);A[3,2] := 0.0; A[3,3] := -1/Tg; A[3,4] := -1/Tg;
  A[4,1] := Ki; A[4,2] := 0.0; A[4,3] := 0.0; A[4,4] := 0.0;
end;

{Inisial matrik B}
Procedure inisialB(Tg:real;
  Var B:Mat1);
Begin
  B[1,1] := 0.0; B[2,1] := 0.0; B[3,1]:= 1/Tg; B[4,1] := 0;
end;

{Inisial matrik C}
Procedure InisialC(Kp,Tp:real;
  var C:Mat1);
Begin
  C[1,1]:=-Kp/Tp; C[2,1] :=0.0; C[3,1]:= 0.0; C[4,1] := 0.0;
end;

{Matrik KondisiF}

```

```

Procedure Kondisi(Ts:real;
  Var AS,AD,AT,AE,Stat:Mat1);
Var
  I,J,L : integer;
  ID,AL : Mat1;
Begin
  {Membentuk Matrik Indentitas}
  For I:= 1 to 4 do
    Begin
      For J:= 1 to 4 do
        Begin
          If I = J then
            ID[I,J]:=1
          else
            ID[I,J]:=0.0;
          end;
        end;
      end;

    For I:= 1 to 4 do
      Begin
        For J:= 1 to 4 do
          Begin
            AD[I,J]:=0.0;
            For L:= 1 to 4 do
              AD[I,J]:=AD[I,J]+(AS[I,L]*AS[L,J])*Ts*Ts/2;
            end;
          end;
        end;
      end;

    For I:= 1 to 4 do
      Begin
        For J:= 1 to 4 do
          Begin
            AT[I,J]:=0.0;
            For L:= 1 to 4 do
              AT[I,J]:=AT[I,J]+(AD[I,L]*AS[L,J])*Ts/3;
            end;
          end;
        end;
      end;

    For I:= 1 to 4 do
      Begin
        For J:= 1 to 4 do
          Begin
            AE[I,J]:= 0.0;
            For L:= 1 to 4 do
              AE[I,J]:=AE[I,J]+(AT[I,L])*AS[L,J]*Ts/4;
            end;
          end;
        end;
      end;

    For I:= 1 to 4 do
      Begin
        For J:= 1 to 4 do
          Begin
            AL[I,J] := 0.0;
            For L:= 1 to 4 do
              AL[I,J] := AL[I,J]+(AE[I,L])*AS[L,J]*Ts/5;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  For I:= 1 to 4 do
    Begin

```

```

    For J:= 1 to 4 do
    Begin
        stat[I,J]:=ID[I,J]+AS[I,J]*Ts+AD[I,J]+AT[I,J]+AE[I,J]+AL[I,J];
    end;
end;

end;

{Matrik Penguatan G}
Procedure Sinyal(AS,AD,AT,AE,BB:Mat1;
                Var GAIN : Mat1);
Var
    I,J,K:integer;
    AB,A2B,A3B,A4B:mat1;
Begin
For I:= 1 to 4 do
    Begin
        For J:= 1 to 1 do
            Begin
                AB[I,J]:= 0.0;
                For K:= 1 to 4 do
                    AB[I,J] := AB[I,J]+(AS[I,K]*BB[K,J]*Ts*Ts/2);
                end;
            end;
        end;
        For I:= 1 to 4 do
            Begin
                For J := 1 to 1 do;
                    Begin
                        A2B[I,J]:=0.0;
                        For K:= 1 to 4 do
                            A2B[I,J]:=A2B[I,J]+(AD[I,K]*BB[K,J])*Ts/3;
                        end;
                    end;
                end;
                For I:=1 to 4 do
                    Begin
                        For J:= 1 to 1 do
                            Begin
                                A3B[I,J] := 0.0;
                                For K:= 1 to 4 do
                                    A3B[I,J]:=A3B[I,J]+(AT[I,K]*BB[K,J])*Ts/4;
                                end;
                            end;
                        end;
                        For I:= 1 to 4 do
                            Begin
                                For J := 1 to 1 do
                                    Begin
                                        A4B[I,J]:=0.0;
                                        For K:= 1 to 4 do
                                            A4B[I,J]:=A4B[I,J]+(AE[I,K]*BB[K,J])*Ts/5;
                                        end;
                                    end;
                                end;
                            end;
                        For I := 1 to 4 do
                            Begin
                                For J:= 1 to 1 do
                                    Gain[I,J] := BB[I,J]*Ts+AB[I,J]+A2B[I,J]+A3B[I,J]+A4B[I,J];
                                end;
                            end;
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;

```



```

end;

{Matrik Gangguan D}
Procedure Gangguan(AS,AD,AT,AE,C : Mat1;
                   Var dis:Mat1);
Var
  I,J,K:integer;
  AC,A2C,A3C,A4C:Mat1;
Begin
  For I:= 1 to 4 do
    Begin
      For J:= 1 to 1 do
        Begin
          AC[I,J]:= 0.0;
          For K:= 1 to 4 do
            AC[I,J]:=AC[I,J]+(AS[I,K]* C[K,J])*Ts*Ts/2;
          end;
        end;
      end;
    end;
  For I:= 1 to 4 do
    Begin
      For J:= 1 to 1 do
        Begin
          A2C[I,J]:=0.0;
          For K:= 1 to 4 do
            A2C[I,J]:=A2C[I,J]+(AD[I,K]*C[K,J])*Ts/3;
          end;
        end;
      end;
    end;
  For I := 1 to 4 do
    Begin
      For J := 1 to 1 do
        Begin
          A3C[i,j] := 0.0;
          For k := 1 to 4 do
            A3C[I,J]:=A3C[I,J]+(AT[I,K]*C[K,J])*Ts/4;
          end;
        end;
      end;
    end;
  For I:= 1 to 4 do
    Begin
      For J:= 1 to 1 do
        Begin
          A4C[I,J]:=0.0;
          For K:= 1 to 4 do
            A4C[I,J]:=A4C[I,J]+(AE[I,K]*C[K,J])*Ts/5;
          end;
        end;
      end;
    end;
  For I := 1 to 4 do
    Begin
      For J := 1 to 1 do
        Begin
          dis[I,J] := C[I,J]*Ts+AC[I,J]+A2C[I,J]+A3C[I,J]+A4C[I,J];
        end;
      end;
    end;
  end;

{Mencari Nilai Minimum}

```

```

Function Min(A,B:real):real;
Begin
  if A<= B then
    Min := A
  else
    Min := B;
end;

{Warna Tampilan Program}
Procedure Warna;
Begin
  textbackground(7);{Warna Dasar}
  TextColor(5); {Warna Text}
end;

{Mengembalikan Warna Tampilan kenormal}
Procedure Normal;
Begin
  TextBackGround(white); {Warna Dasar}
  TextColor(5); {Warna Text}
end;

Procedure Kotak(var x1,y1,x2,y2,warna1,warna2:integer);
Begin
  setcolor(warna1);
  bar(x1,y1,x2,y2);
end;

{Menampilkan Judul Program di Layar}
Procedure Tampil;
Var
  xx,yy:integer;
Begin
  Writeln;
  Writeln;
  Writeln;
  Writeln;
  Writeln('PROGRAM PENGENDALIAN FREKUENSI DENGAN ');
  Writeln('MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY PADA PLTU PAITON ');
  Writeln;
  Writeln;
  Writeln('TUGAS AKHIR ');
  Writeln;
  Writeln('oleh :');
  Writeln;
  Writeln('SYAHRUL FIZA');
  Writeln('293 220 2188 ');
  Writeln;
  Writeln('Pembimbing:');
  Writeln('Ir. H.M. Djoko Santoso ');
  Writeln('Ir. Imam Robandi M.T ');
  Writeln;
  Writeln;
  Writeln('JURUSAN TEKNIK ELEKTRO ');
  Writeln('BIDANG STUDI: TEKNIK SISTEM TENAGA ');
  Writeln;

```

```

Writeln('INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA ');
Writeln('1996 ');
Writeln;
Writeln;
xx:=whereX;
yy:=whereY;
gotoxy(1,24);
write('Tekan Enter .....');
readln;
delline;
end;

```

```

{Menampilkan data dan Kondisi Awal}
Procedure Tampil2(var Tgg,Ttt,Tps,Kps,Rr,Kint,Tss:real);
Begin
  Writeln;
  Writeln('-----');
  Writeln('Parameter-Parameter Sistem :');
  Writeln('-----');
  Writeln('Konstanta Waktu Governor    (Tg) = ',Tgg:6:2);
  Writeln('Konstanta Waktu Turbin      (Tt) = ',Ttt:6:2);
  Writeln('Konstanta Waktu Sistem Beban  (Tp) = ',Tps:6:2);
  Writeln('Konstanta Sistem beban      (Kp) = ',Kps:6:2);
  Writeln('Konstanta Speed Governor     (R) = ',Rr:6:2);
  Writeln('Konstanta Penguat Integrator  (Ki) = ',Kint:6:2);
  Writeln('Waktu Sampling              (Ts) = ',Tss:6:2);

  xx:=whereX;
  yy:=whereY;
  gotoxy(1,24);
  Write('Tekan Enter .....');
  readln;
  delline;
end;

```

```

{Menampilkan Kondisi Awal}
Procedure tampil3(Var uo,dfo,Po,Pdo:mat2);
Begin
  Writeln;
  Writeln('-----');
  Writeln('Keadaan Awal Sistem');
  Writeln('-----');
  Writeln('Perubahan Frekuensi    df[0] = ',dfo[1]:7:3);
  Writeln('Perubahan Daya Generator dPg[0] = ',Po[1]:7:3);
  Writeln('Sinyal Atur Dari PLF    u[0] = ',uo[1]:7:3);
  Writeln('Perubahan Beban        Pd[0] = ',Pdo[1]:7:3);
  xx:=whereX;
  yy:=whereY;
  gotoxy(1,24);
  Write('Tekan Enter .....');
  readln;
  delline;
end;

```

```

{Membaca Data Sistem Dan Kondisi Awal}
Procedure Linguistik(Var Error,DError,Atur : real);

```



```

Var
  fz:text;
  karsa,kardu,karti :string[5];
Begin
  karsa:='R1='; kardu:='R2='; karti:='Ru =';
  Assign(fz,'c:\pascal\Fuzzy.dat');
  Reset(fz);
  readln(fz,karsa,Error);
  readln(fz,kardu,DError);
  readln(fz,karti,Atur);
  close(fz);
end;

{Menampilkan Range Variabel Fuzzy}
Procedure Tampil4(var R11,R22,Ruu,b11,b22:real);
Var
  xx,yy :integer;
Begin
  Writeln;
  Writeln('-----');
  Writeln('Range PLF Dengan 7 Variabel Linguistik ');
  Writeln('-----');
  Writeln('Error          =','-R11:7:3','<=e1 <=' ,R11:7:3);
  Writeln('Perubahan Error    =','-R22:7:3','<=e2 <=' ,R22:7:3);
  Writeln('Sinyal Atur         =','-Ruu:7:3','<=u <=' ,Ruu:7:3);
  Writeln('Sebaran Error (b1)  =','b1:7:3);
  Writeln('Sebaran Per.Error(b2) =','b2:7:3);
  xx:=whereX;
  yy:=whereY;
  gotoxy(1,24);
  write('Tekan Enter .....');
  readln;
  delfine;
end;

{Membuat basis data fuzzy}
Procedure Basis7(Var R11,R22,Ruu:real;
  Var Re11,Re22:mat2;
  Var RuuF:mat1);
Begin
  {basis Data Error}
  Re11[1]:=-R11;      {NB}
  Re11[2]:=-2*R11/3;  {NS}
  Re11[3]:=-R11/3;    {NK}
  Re11[4]:=0.0;       {NL}
  Re11[5]:=R11/3;     {PK}
  Re11[6]:=2*R11/3;   {PS}
  Re11[7]:=R11;       {PB}

  {Basis Data Perubahan Error}
  Re22[1]:=-R22;      {NB}
  Re22[2]:=-R22/3;    {NS}
  Re22[3]:=-R22/3;    {NK}
  Re22[4]:=0.0;       {NL}
  Re22[5]:=R22/3;     {PK}
  Re22[6]:=2*R22/3;   {PS}

```

```

Re22[7]:=R22;      {PB}
{Look up table}

RuuF[1,1]:=-Ruu;    {NB}
RuuF[1,2]:=-Ruu;    {NB}
RuuF[1,3]:=-Ruu;    {NB}
RuuF[1,4]:=-Ruu;    {NB}
RuuF[1,5]:=-2*Ruu/3; {NS}
RuuF[1,6]:=-Ruu/3;  {NK}
RuuF[1,7]:=0.0;     {NL}

RuuF[2,1]:=-Ruu;    {NB}
RuuF[2,2]:=-Ruu;    {NB}
RuuF[2,3]:=-Ruu;    {NB}
RuuF[2,4]:=-2*Ruu/3; {NS}
RuuF[2,5]:=-Ruu/3;  {NK}
RuuF[2,6]:=0.0;     {NL}
RuuF[2,7]:=-Ruu/3;  {PK}

RuuF[3,1]:=-Ruu;    {NB}
RuuF[3,2]:=-Ruu;    {NB}
RuuF[3,3]:=-2*Ruu/3; {NS}
RuuF[3,4]:=-Ruu/3;  {NK}
RuuF[3,5]:=-0.0;    {NL}
RuuF[3,6]:=-Ruu/3;  {PK}
RuuF[3,7]:=2*Ruu/3;  {PS}

RuuF[4,1]:=-Ruu;    {NB}
RuuF[4,2]:=-2*Ruu/3; {NS}
RuuF[4,3]:=-Ruu/3;  {NK}
RuuF[4,4]:=0.0;     {NL}
RuuF[4,5]:=-Ruu/3;  {PK}
RuuF[4,6]:=2*Ruu/3;  {PS}
RuuF[4,7]:=-Ruu;    {PB}

RuuF[5,1]:=-2*Ruu/3; {NS}
RuuF[5,2]:=-Ruu/3;  {NK}
RuuF[5,3]:=0.0;     {NL}
RuuF[5,4]:=-Ruu/3;  {PK}
RuuF[5,5]:=2*Ruu/3;  {PS}
RuuF[5,6]:=-Ruu;    {PB}
RuuF[5,7]:=-Ruu;    {PB}

RuuF[6,1]:=-Ruu/3;  {NK}
RuuF[6,2]:=0.0;     {NL}
RuuF[6,3]:=-Ruu/3;  {PK}
RuuF[6,4]:=2*Ruu/3;  {PS}
RuuF[6,5]:=-Ruu;    {PB}
RuuF[6,6]:=-Ruu;    {PB}
RuuF[6,7]:=-Ruu;    {PB}

RuuF[7,1]:=0.0;     {NL}
RuuF[7,2]:=-Ruu/3;  {PK}
RuuF[7,3]:=2*Ruu/3;  {PS}
RuuF[7,4]:=-Ruu;    {PB}
RuuF[7,5]:=-Ruu;    {PB}

```

```

RuuF[7,6]:=Ruu;      {PB}
RuuF[7,7]:=Ruu;      {PB}
end;

{Menampilkan hasil hitungan respon}
Procedure respon(Var k:integer;
                 Var Tss:real;
                 Var uatur,dbelan,dfrek,dfrekint,dP,dPint:mat2);
Var
  xx,yy:integer;
  Ts1:real;
Begin
  Ts1:= k * Tss;
  Writeln;
  Writeln;
  Writeln('-----');
  Writeln('Hasil Respon Pada t = ',Ts1:5:2, ' detik');
  Writeln('-----');
  Writeln('Sinyal Pengaturan Dari PLF          = ',uator[k-1]:9:5);
  Writeln('Perubahan Beban (PD)                   = ',dbelan[k]:9:5);
  Writeln('Perubahan Frekuensi Dgn PLF 7 var.Lingustik = ',dfrek[k]:9:5);
  Writeln('Perubahan Frekuensi Dengan Integrator      = ',dfrekint[k]:9:5);
  Writeln('Perubahan Daya Dengan PLF 7 Var. Linguistik = ',dP[k]:9:5);
  Writeln('Perubahan Daya Dengan Integrator           = ',dPint[k]:9:5);
  Writeln('-----');
  xx:=whereX;
  yy:=whereY;
  gotoxy(1,24);
  write('Tekan Enter .....');
  Readln;
  delline;
  gotoxy(xx,yy);
end;

{Menulis Hasil Running Program ke File}
Procedure Tulis(Var m:integer;
                Var u,df,dfi,P,Pi,beb:mat2);
Var
  i:integer;
  t:real;
  H:text;
Begin
  assign(H,'c:\pascal\HASIN05.dat');
  rewrite(H);
  writeln(H,'t u df dfi Pg Pgi Pd');
  for i:= 1 to m do
    Begin
      t:=i*0.05;
      Writeln(H,t:5:2,u[i-1]:8:4,df[i]:9:5,dfi[i]:9:5,P[i]:9:5,Pi[i]:9:5,Pd[i-1]:8:4);
    end;
  close(H);
end;

{Perhitungan perubahan frekuensi, daya, posisi governor, dan integrator}
Procedure Hitung1(Var ki,ki1:integer;
                  Var FF,GG,DD:mat1;

```



```

Var dff,PP,Xvv,Intt,Pdd,uu:mat2);
Begin
  dff[ki] := FF[1,1]*dff[Ki1]+FF[1,2]*PP[ki1]+FF[1,3]*Xvv[Ki1]+FF[1,4]*Intt[ki1]+
    GG[1,1]*uu[ki1]+DD[1,1]*Pdd[Ki1];

  PP[ki] := FF[2,1]*dff[ki1]+FF[2,2]*PP[ki1]+FF[2,3]*Xvv[ki1]+FF[2,4]*Intt[ki1]+
    GG[2,1]*uu[ki1]+DD[2,1]*Pdd[Ki1];

  Xvv[ki] := FF[3,1]*dff[ki1]+FF[3,2]*PP[ki1]+FF[3,3]*Xvv[ki1]+FF[3,4]*Intt[ki1]+
    GG[3,1]*uu[ki1]+DD[3,1]*Pdd[ki1];

  intt[ki]:= FF[4,1]*dff[ki1]+FF[4,2]*PP[ki1]+FF[4,3]*Xvv[Ki1]+FF[4,4]*Intt[ki1]+
    GG[4,1]*uu[ki1]+DD[4,1]*Pdd[ki1];
end;

```

```

{=====}
{*****Program Utama *****}
{=====}

```

```

Begin
  Warna;
  Clrscr;
  Tampil1;
  Clrscr;
  Data(Tg,Tt,Tp,Kp,R,Ki,Ts,u,df,dfi,P,Pi,Xv,Xvi,Int,Integ,Pd);
  Tampil2(Tg,Tt,Tp,Kp,R,Ki,Ts);
  Clrscr;
  Tampil3(u,df,P,Pd);
  InisialA(Tg,Tt,Tp,Kp,R,Ki,A);
  InisialB(Tg,B);
  InisialC(Kp,Tp,C);
  Kondisi(Ts,A,A2,A3,A4,F);
  Sinyal(A,A2,A3,A4,B,G);
  Gangguan(A,A2,A3,A4,C,D);

```

```

  {Rataan Fuzzy}
  Linguistik(R1,R2,Ru);
  {inisial}
  e1[1]:=0.0; Ref:=0.0; n7:=7;
  b1:=R1/3; b2:=R2/3; ui[1]:=0.0;
  clrscr;
  Tampil4(R1,R2,Ru,b1,b2);
  clrscr;
  Normal;
  clrscr;

```

```

{Menampilkan Grafik Respon Perubahan Frekuensi }

```

```

grDriver := Detect;
InitGraph(grDriver,grMode,"");
Errcode := GraphResult;
if ErrCode = grOk then

```

```

  {membuat grafik}
  for k:= 1 to 300 do
  Begin
    k11:=k-1;

```

```
{sinus := 0.0005*sin(36*k11/57.2958);}
Pd[k11]:=0.05; {+sinus;}
```

```
{Menghitung Perubahan Frekuensi, Daya, Posisi Governor, dan Sinyal}
Hitung1(k,k11,F,G,D,df,P,Xv,Int,Pd,u);
Hitung1(k,k11,F,G,D,dfi,Pi,Xvi,Integ,Pd,ui);
u[k]:=0;
ui[k]:=0.0;
jum1:=0.0; jum2:=0.0;
```

```
{Menghitung Error dan Perubahannya Untuk 7 Variabel Linguistik}
e1[k]:=Ref-df[k];
e2[k]:=e1[k]-e1[k-1];
Basis7(R1,R2,Ru,Re1,Re2,RuF);
if e1[k] > R1 then e1[k] := R1;
if e1[k] < -R1 then e1[k]:=-R1;
if e2[k] > R2 then e2[k] := R2;
if e2[k] < -R2 then e2[k] := -R2;
```

```
For I := 1 to 7 Do
```

```
Begin
```

```
if ((Re1[i]-b1)<e1[k]) and (e1[k]<=(Re1[i]+b1)) Then
ue1[i]:=1-(sqrt(sqr(e1[k]-Re1[i])))/b1;
```

```
For j := 1 to 7 do
```

```
Begin
```

```
if ((Re2[j]-b2)<e2[k]) and (e2[k] <= (Re2[j]+b2)) Then
ue2[j]:=1-(sqrt(sqr(e2[k]-Re2[j])))/b2;
M[i,j] := Min(ue1[i],ue2[j]);
jum1 := jum1 + M[i,j]*RuF[i,j];
jum2 := jum2 + M[i,j];
end;
end;
```

```
{Metode Defuzzifikasi Titik Pusat}
```

```
u[k] := jum1/jum2;
if u[k] >= 0.719 then u[k] := 0.719;
if (u[k] < -0.719) then u[k]:=-0.719;
end;
```

```
{Menulis hasil di File}
```

```
Tulis(k,u,df,dfi,P,Pi,Pd);
```

```
{Masukan Fungsi Step}
```

```
Begin
```

```
grDriver := Detect;
InitGraph(grDriver,grMode,"");
Errcode := GraphResult;
if ErrCode = grOk then
{membuat grafik}
Begin
Setfillstyle(1,15);
Bar(0,0, 640, 600);
```

```

ytengah:=GetMaxY div 2;
setcolor(0);
Line(50,ytengah,50+GetMaxX div 2, ytengah);
Line(50,100,50,375);
line(50,100,53,100);
line(50,135,53,135);
line(50,170,53,170);
line(50,205,53,205);
line(50,240,53,240);
line(50,275,53,275);
line(50,310,53,310);
line(50,345,53,345);
line(50,375,53,375);
for j:=1 to 15 do
Begin
  line(50+j*20,238,50+j*20,242);
end;
SetTextStyle(2, 1,1);
OutTextXY(35,210, '□Pd(pu)');
SetTextStyle(2, 0,1);
moveto(190,250);outtext('7.5');
moveto(347,250);outtext('15');
moveto(40,236);outtext('0');
moveto(17,305);outtext('-.05');
moveto(17,368);outtext('-.1');
moveto(370,236);outtext('>');
moveto(380,236);outtext('t(detik)');
moveto(25,100);outtext(' .1');
moveto(25,170);outtext('-.05');
moveto(50,72);outtext('Grafik Masukan Fungsi Step vs Waktu');
normal;
for time := 0 to k do
Begin
  Beban := ytengah-round(1400*Pd[time]);
  putpixel(time+50,Beban,black);
end;
readln;
closegraph;
end
else
  Writeln('Graphics error:', GraphErrorMsg(ErrCode));
end;

```

{Menampilkan Grafik Respon Perubahan Frekuensi }

```

Begin
  grDriver := Detect;
  InitGraph(grDriver,grMode,"");
  Errcode := GraphResult;
  if ErrCode = grOk then
  {membuat grafik}
  Begin
    Setfillstyle(1,15);
    Bar(0,0, 640, 600); {Kotak Background}
    ytengah:=GetMaxY div 2;
    setcolor(0);

```



```

Line(50,ytengah,50+GetMaxX div 2, ytengah);
Line(50,100,50,375);
line(50,100,53,100);
line(50,135,53,135);
line(50,170,53,170);
line(50,205,53,205);
line(50,240,53,240);
line(50,275,53,275);
line(50,310,53,310);
line(50,345,53,345);
line(50,375,53,375);
for j:=1 to 15 do
Begin
  line(50+j*20,238,50+j*20,242);
end;
SetTextStyle(2, 1,1);
OutTextXY(35,210, '□F(Hz)');
SetTextStyle(2, 0,1);
moveto(190,250);outtext('7.5');
moveto(347,250);outtext('15');
moveto(40,236);outtext('0');
moveto(17,305);outtext('-.05');
moveto(17,368);outtext('-.1');
moveto(370,236);outtext('>');
moveto(380,236);outtext('t(detik)');
moveto(25,100);outtext(' .1');
moveto(25,170);outtext(' .05');
moveto(50,72);outtext('Grafik Respon Perubahan Frekuensi vs Waktu');
normal;
for time := 0 to k do
Begin
  fuzy:=ytengah-round(1400*dfi[time]);
  integral:=(ytengah - round(1400*dfi[time]));
  putpixel(time+50,fuzy,black);
  if (time mod 4)=0 then
  Begin
    putpixel(time+50,integral,black);
    delay(10);
  end;
end;
readln;
closegraph;
end
else
Writeln('Graphics error:', GraphErrorMsg(ErrCode));
end;

```

```

{Menampilkan Grafik Respon Perubahan Daya Yang Dibangkitkan Oleh Generator}
Begin
  grDriver := Detect;
  InitGraph(grDriver,grMode,"");
  ErrCode := GraphResult;
  if ErrCode = grOk then
  {Membuat Grafik}
  Begin

```

```

Setfillstyle(1,15);
Bar(0, 0, 620,620);{Kotak Besar}
ytengah:=GetMaxY div 2;
setcolor(0);
line(50,ytengah,50+GetMaxX div 2, ytengah);
line(50,100,50,375);
line(50,100,53,100);
line(50,135,53,135);
line(50,170,53,170);
line(50,205,53,205);
line(50,240,53,240);
line(50,275,53,275);
line(50,310,53,310);
line(50,345,53,345);
line(50,375,53,375);
SetTextStyle(2, 1,1);
OutTextXY(35,210, '□Pg(pu)');
SetTextStyle(2, 0,1);
moveto(190,250);outtext('7.5');
moveto(347,250);outtext('15');
moveto(40,236);outtext('0');
moveto(17,305);outtext('- .05');
moveto(17,368);outtext('- .1');
moveto(25,100);outtext(' .1');
moveto(25,170);outtext(' .05');
moveto(370,236);outtext('>');
moveto(380,236);outtext('t(detik)');
moveto(50,71);outtext('Grafik Respon Perubahan Daya Generator vs Waktu');

for j:=1 to 15 do
Begin
  line(50+j*20,238,50+j*20,242);
end;

for time := 0 to k do
Begin
  fuzy1:=ytengah-round(1400*P[time]);
  integral1:=(ytengah - round(1400*Pi[time]));
  putpixel(time+50,fuzy1,black);
  if (time mod 4)=0 then
  Begin
    putpixel(time+50,integral1,black);
    delay(10);
  end;
end;

readln;
closegraph;
end
else
Writeln('Graphics error:', GraphErrorMsg(ErrCode));
end;
clrscr;
Normal;
clrscr;
end.

```

Lampiran B :

Hasil Simulasi Fungsi Step :

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
0.05	0.0000	-0.00300	-0.00300	0.00002	0.00002	0.0500
0.10	0.0074	-0.00599	-0.00599	0.00043	0.00013	0.0500
0.15	0.0104	-0.00893	-0.00898	0.00143	0.00037	0.0500
0.20	0.0132	-0.01180	-0.01194	0.00295	0.00077	0.0500
0.25	0.0160	-0.01455	-0.01487	0.00490	0.00132	0.0500
0.30	0.0185	-0.01719	-0.01776	0.00721	0.00201	0.0500
0.35	0.0210	-0.01967	-0.02061	0.00980	0.00284	0.0500
0.40	0.0232	-0.02198	-0.02340	0.01262	0.00380	0.0500
0.45	0.0253	-0.02413	-0.02612	0.01559	0.00488	0.0500
0.50	0.0272	-0.02609	-0.02878	0.01868	0.00606	0.0500
0.55	0.0289	-0.02786	-0.03137	0.02183	0.00734	0.0500
0.60	0.0304	-0.02944	-0.03387	0.02500	0.00871	0.0500
0.65	0.0317	-0.03083	-0.03629	0.02815	0.01015	0.0500
0.70	0.0328	-0.03203	-0.03861	0.03126	0.01167	0.0500
0.75	0.0337	-0.03305	-0.04084	0.03428	0.01326	0.0500
0.80	0.0345	-0.03389	-0.04298	0.03721	0.01490	0.0500
0.85	0.0351	-0.03455	-0.04501	0.04001	0.01659	0.0500
0.90	0.0355	-0.03505	-0.04694	0.04268	0.01832	0.0500
0.95	0.0358	-0.03540	-0.04877	0.04519	0.02010	0.0500
1.00	0.0359	-0.03560	-0.05048	0.04754	0.02191	0.0500
1.05	0.0359	-0.03566	-0.05209	0.04973	0.02375	0.0500
1.10	0.0357	-0.03560	-0.05358	0.05174	0.02561	0.0500
1.15	0.0355	-0.03542	-0.05496	0.05359	0.02749	0.0500
1.20	0.0351	-0.03514	-0.05622	0.05525	0.02939	0.0500
1.25	0.0346	-0.03476	-0.05738	0.05674	0.03130	0.0500
1.30	0.0340	-0.03430	-0.05841	0.05805	0.03321	0.0500
1.35	0.0334	-0.03376	-0.05933	0.05920	0.03513	0.0500
1.40	0.0327	-0.03316	-0.06014	0.06017	0.03704	0.0500
1.45	0.0319	-0.03251	-0.06083	0.06100	0.03895	0.0500
1.50	0.0312	-0.03181	-0.06140	0.06168	0.04085	0.0500
1.55	0.0304	-0.03108	-0.06186	0.06222	0.04274	0.0500
1.60	0.0296	-0.03032	-0.06221	0.06264	0.04461	0.0500
1.65	0.0288	-0.02953	-0.06245	0.06295	0.04646	0.0500
1.70	0.0279	-0.02874	-0.06257	0.06315	0.04829	0.0500
1.75	0.0271	-0.02793	-0.06259	0.06326	0.05009	0.0500
1.80	0.0263	-0.02712	-0.06250	0.06329	0.05187	0.0500
1.85	0.0255	-0.02631	-0.06231	0.06324	0.05362	0.0500
1.90	0.0247	-0.02550	-0.06201	0.06313	0.05533	0.0500
1.95	0.0239	-0.02471	-0.06160	0.06295	0.05700	0.0500
2.00	0.0231	-0.02393	-0.06110	0.06273	0.05864	0.0500
2.05	0.0223	-0.02316	-0.06051	0.06247	0.06024	0.0500

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
2.10	0.0216	-0.02241	-0.05982	0.06217	0.06179	0.0500
2.15	0.0209	-0.02168	-0.05903	0.06184	0.06330	0.0500
2.20	0.0202	-0.02097	-0.05816	0.06148	0.06476	0.0500
2.25	0.0196	-0.02028	-0.05721	0.06111	0.06617	0.0500
2.30	0.0189	-0.01961	-0.05617	0.06073	0.06754	0.0500
2.35	0.0183	-0.01897	-0.05505	0.06034	0.06885	0.0500
2.40	0.0177	-0.01835	-0.05385	0.05994	0.07011	0.0500
2.45	0.0171	-0.01776	-0.05258	0.05955	0.07131	0.0500
2.50	0.0166	-0.01719	-0.05124	0.05915	0.07246	0.0500
2.55	0.0161	-0.01664	-0.04984	0.05876	0.07355	0.0500
2.60	0.0156	-0.01612	-0.04837	0.05838	0.07458	0.0500
2.65	0.0151	-0.01562	-0.04684	0.05800	0.07555	0.0500
2.70	0.0147	-0.01515	-0.04525	0.05764	0.07646	0.0500
2.75	0.0142	-0.01469	-0.04362	0.05728	0.07732	0.0500
2.80	0.0138	-0.01426	-0.04193	0.05694	0.07811	0.0500
2.85	0.0134	-0.01384	-0.04020	0.05662	0.07884	0.0500
2.90	0.0131	-0.01345	-0.03843	0.05631	0.07951	0.0500
2.95	0.0127	-0.01307	-0.03663	0.05601	0.08012	0.0500
3.00	0.0124	-0.01271	-0.03478	0.05573	0.08067	0.0500
3.05	0.0121	-0.01237	-0.03291	0.05546	0.08115	0.0500
3.10	0.0118	-0.01205	-0.03101	0.05521	0.08158	0.0500
3.15	0.0115	-0.01173	-0.02909	0.05498	0.08194	0.0500
3.20	0.0112	-0.01144	-0.02715	0.05476	0.08224	0.0500
3.25	0.0109	-0.01115	-0.02520	0.05455	0.08249	0.0500
3.30	0.0107	-0.01088	-0.02323	0.05436	0.08267	0.0500
3.35	0.0104	-0.01062	-0.02126	0.05417	0.08279	0.0500
3.40	0.0102	-0.01037	-0.01928	0.05401	0.08286	0.0500
3.45	0.0099	-0.01013	-0.01729	0.05385	0.08286	0.0500
3.50	0.0097	-0.00990	-0.01532	0.05371	0.08281	0.0500
3.55	0.0095	-0.00967	-0.01334	0.05357	0.08271	0.0500
3.60	0.0093	-0.00946	-0.01138	0.05345	0.08255	0.0500
3.65	0.0091	-0.00925	-0.00943	0.05333	0.08234	0.0500
3.70	0.0089	-0.00905	-0.00749	0.05322	0.08207	0.0500
3.75	0.0087	-0.00885	-0.00557	0.05313	0.08176	0.0500
3.80	0.0085	-0.00866	-0.00367	0.05303	0.08139	0.0500
3.85	0.0084	-0.00848	-0.00180	0.05295	0.08098	0.0500
3.90	0.0082	-0.00830	0.00004	0.05287	0.08052	0.0500
3.95	0.0080	-0.00813	0.00186	0.05280	0.08001	0.0500
4.00	0.0079	-0.00796	0.00364	0.05273	0.07946	0.0500
4.05	0.0077	-0.00779	0.00539	0.05267	0.07887	0.0500
4.10	0.0075	-0.00763	0.00710	0.05261	0.07824	0.0500
4.15	0.0074	-0.00747	0.00877	0.05255	0.07757	0.0500
4.20	0.0072	-0.00732	0.01040	0.05250	0.07687	0.0500
4.25	0.0071	-0.00716	0.01199	0.05245	0.07613	0.0500
4.30	0.0069	-0.00701	0.01352	0.05240	0.07535	0.0500

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
4.35	0.0068	-0.00687	0.01501	0.05236	0.07455	0.0500
4.40	0.0067	-0.00673	0.01645	0.05231	0.07372	0.0500
4.45	0.0065	-0.00658	0.01784	0.05227	0.07286	0.0500
4.50	0.0064	-0.00645	0.01918	0.05223	0.07197	0.0500
4.55	0.0063	-0.00631	0.02046	0.05219	0.07106	0.0500
4.60	0.0061	-0.00618	0.02168	0.05215	0.07013	0.0500
4.65	0.0060	-0.00605	0.02285	0.05212	0.06918	0.0500
4.70	0.0059	-0.00592	0.02396	0.05208	0.06821	0.0500
4.75	0.0057	-0.00579	0.02501	0.05204	0.06723	0.0500
4.80	0.0056	-0.00567	0.02600	0.05201	0.06623	0.0500
4.85	0.0055	-0.00554	0.02693	0.05197	0.06522	0.0500
4.90	0.0054	-0.00542	0.02780	0.05194	0.06420	0.0500
4.95	0.0053	-0.00531	0.02861	0.05190	0.06317	0.0500
5.00	0.0052	-0.00519	0.02936	0.05187	0.06214	0.0500
5.05	0.0050	-0.00508	0.03004	0.05184	0.06110	0.0500
5.10	0.0049	-0.00496	0.03066	0.05180	0.06006	0.0500
5.15	0.0048	-0.00485	0.03121	0.05177	0.05902	0.0500
5.20	0.0047	-0.00475	0.03171	0.05174	0.05798	0.0500
5.25	0.0046	-0.00464	0.03214	0.05170	0.05694	0.0500
5.30	0.0045	-0.00454	0.03251	0.05167	0.05591	0.0500
5.35	0.0044	-0.00444	0.03282	0.05164	0.05489	0.0500
5.40	0.0043	-0.00434	0.03306	0.05161	0.05387	0.0500
5.45	0.0042	-0.00424	0.03325	0.05157	0.05286	0.0500
5.50	0.0041	-0.00414	0.03337	0.05154	0.05187	0.0500
5.55	0.0040	-0.00405	0.03344	0.05151	0.05088	0.0500
5.60	0.0040	-0.00396	0.03345	0.05148	0.04992	0.0500
5.65	0.0039	-0.00387	0.03340	0.05145	0.04896	0.0500
5.70	0.0038	-0.00378	0.03329	0.05142	0.04803	0.0500
5.75	0.0037	-0.00369	0.03313	0.05139	0.04711	0.0500
5.80	0.0036	-0.00361	0.03291	0.05136	0.04621	0.0500
5.85	0.0035	-0.00353	0.03264	0.05133	0.04534	0.0500
5.90	0.0035	-0.00345	0.03232	0.05130	0.04448	0.0500
5.95	0.0034	-0.00337	0.03195	0.05127	0.04365	0.0500
6.00	0.0033	-0.00329	0.03153	0.05124	0.04285	0.0500
6.05	0.0032	-0.00322	0.03106	0.05121	0.04207	0.0500
6.10	0.0032	-0.00314	0.03054	0.05118	0.04131	0.0500
6.15	0.0031	-0.00307	0.02998	0.05116	0.04058	0.0500
6.20	0.0030	-0.00300	0.02938	0.05113	0.03988	0.0500
6.25	0.0030	-0.00293	0.02874	0.05110	0.03921	0.0500
6.30	0.0029	-0.00287	0.02806	0.05108	0.03857	0.0500
6.35	0.0028	-0.00280	0.02734	0.05105	0.03796	0.0500
6.40	0.0028	-0.00274	0.02659	0.05103	0.03738	0.0500
6.45	0.0027	-0.00268	0.02580	0.05101	0.03683	0.0500
6.50	0.0026	-0.00261	0.02498	0.05098	0.03631	0.0500
6.55	0.0026	-0.00255	0.02413	0.05096	0.03582	0.0500

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
6.60	0.0025	-0.00250	0.02326	0.05094	0.03537	0.0500
6.65	0.0025	-0.00244	0.02236	0.05091	0.03495	0.0500
6.70	0.0024	-0.00238	0.02143	0.05089	0.03456	0.0500
6.75	0.0024	-0.00233	0.02048	0.05087	0.03420	0.0500
6.80	0.0023	-0.00228	0.01951	0.05085	0.03388	0.0500
6.85	0.0023	-0.00223	0.01853	0.05083	0.03359	0.0500
6.90	0.0022	-0.00218	0.01753	0.05081	0.03333	0.0500
6.95	0.0022	-0.00213	0.01651	0.05079	0.03310	0.0500
7.00	0.0021	-0.00208	0.01548	0.05078	0.03291	0.0500
7.05	0.0021	-0.00203	0.01445	0.05076	0.03275	0.0500
7.10	0.0020	-0.00198	0.01340	0.05074	0.03263	0.0500
7.15	0.0020	-0.00194	0.01235	0.05072	0.03253	0.0500
7.20	0.0019	-0.00190	0.01129	0.05071	0.03247	0.0500
7.25	0.0019	-0.00185	0.01023	0.05069	0.03243	0.0500
7.30	0.0019	-0.00181	0.00917	0.05067	0.03243	0.0500
7.35	0.0018	-0.00177	0.00812	0.05066	0.03246	0.0500
7.40	0.0018	-0.00173	0.00706	0.05064	0.03252	0.0500
7.45	0.0017	-0.00169	0.00601	0.05063	0.03261	0.0500
7.50	0.0017	-0.00165	0.00497	0.05061	0.03272	0.0500
7.55	0.0017	-0.00162	0.00393	0.05060	0.03286	0.0500
7.60	0.0016	-0.00158	0.00291	0.05059	0.03304	0.0500
7.65	0.0016	-0.00154	0.00190	0.05057	0.03323	0.0500
7.70	0.0016	-0.00151	0.00090	0.05056	0.03346	0.0500
7.75	0.0015	-0.00148	-0.00009	0.05055	0.03370	0.0500
7.80	0.0015	-0.00144	-0.00106	0.05053	0.03397	0.0500
7.85	0.0015	-0.00141	-0.00201	0.05052	0.03427	0.0500
7.90	0.0014	-0.00138	-0.00294	0.05051	0.03459	0.0500
7.95	0.0014	-0.00135	-0.00386	0.05050	0.03492	0.0500
8.00	0.0014	-0.00132	-0.00475	0.05049	0.03528	0.0500
8.05	0.0014	-0.00129	-0.00562	0.05048	0.03566	0.0500
8.10	0.0013	-0.00126	-0.00646	0.05047	0.03606	0.0500
8.15	0.0013	-0.00123	-0.00728	0.05046	0.03647	0.0500
8.20	0.0013	-0.00120	-0.00808	0.05045	0.03690	0.0500
8.25	0.0012	-0.00118	-0.00885	0.05044	0.03735	0.0500
8.30	0.0012	-0.00115	-0.00959	0.05043	0.03781	0.0500
8.35	0.0012	-0.00112	-0.01030	0.05042	0.03829	0.0500
8.40	0.0012	-0.00110	-0.01098	0.05041	0.03877	0.0500
8.45	0.0011	-0.00107	-0.01164	0.05040	0.03927	0.0500
8.50	0.0011	-0.00105	-0.01226	0.05039	0.03978	0.0500
8.55	0.0011	-0.00103	-0.01285	0.05038	0.04030	0.0500
8.60	0.0011	-0.00100	-0.01341	0.05037	0.04083	0.0500
8.65	0.0011	-0.00098	-0.01394	0.05036	0.04136	0.0500
8.70	0.0010	-0.00096	-0.01443	0.05036	0.04190	0.0500
8.75	0.0010	-0.00094	-0.01489	0.05035	0.04245	0.0500
8.80	0.0010	-0.00092	-0.01532	0.05034	0.04300	0.0500

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
8.85	0.0010	-0.00089	-0.01572	0.05033	0.04355	0.0500
8.90	0.0009	-0.00087	-0.01608	0.05032	0.04410	0.0500
8.95	0.0009	-0.00085	-0.01641	0.05032	0.04466	0.0500
9.00	0.0009	-0.00084	-0.01671	0.05031	0.04522	0.0500
9.05	0.0009	-0.00082	-0.01697	0.05030	0.04577	0.0500
9.10	0.0009	-0.00080	-0.01720	0.05030	0.04633	0.0500
9.15	0.0009	-0.00078	-0.01739	0.05029	0.04688	0.0500
9.20	0.0008	-0.00076	-0.01755	0.05028	0.04742	0.0500
9.25	0.0008	-0.00075	-0.01768	0.05028	0.04797	0.0500
9.30	0.0008	-0.00073	-0.01778	0.05027	0.04851	0.0500
9.35	0.0008	-0.00071	-0.01784	0.05026	0.04904	0.0500
9.40	0.0008	-0.00070	-0.01788	0.05026	0.04956	0.0500
9.45	0.0008	-0.00068	-0.01788	0.05025	0.05008	0.0500
9.50	0.0007	-0.00067	-0.01785	0.05025	0.05059	0.0500
9.55	0.0007	-0.00065	-0.01779	0.05024	0.05109	0.0500
9.60	0.0007	-0.00064	-0.01770	0.05024	0.05158	0.0500
9.65	0.0007	-0.00062	-0.01758	0.05023	0.05206	0.0500
9.70	0.0007	-0.00061	-0.01744	0.05023	0.05252	0.0500
9.75	0.0007	-0.00059	-0.01726	0.05022	0.05298	0.0500
9.80	0.0007	-0.00058	-0.01706	0.05022	0.05342	0.0500
9.85	0.0006	-0.00057	-0.01684	0.05021	0.05385	0.0500
9.90	0.0006	-0.00055	-0.01659	0.05021	0.05427	0.0500
9.95	0.0006	-0.00054	-0.01631	0.05020	0.05467	0.0500
10.00	0.0006	-0.00053	-0.01601	0.05020	0.05506	0.0500
10.05	0.0006	-0.00052	-0.01569	0.05019	0.05543	0.0500
10.10	0.0006	-0.00051	-0.01534	0.05019	0.05579	0.0500
10.15	0.0006	-0.00049	-0.01498	0.05018	0.05613	0.0500
10.20	0.0006	-0.00048	-0.01459	0.05018	0.05646	0.0500
10.25	0.0006	-0.00047	-0.01419	0.05018	0.05677	0.0500
10.30	0.0005	-0.00046	-0.01376	0.05017	0.05706	0.0500
10.35	0.0005	-0.00045	-0.01333	0.05017	0.05734	0.0500
10.40	0.0005	-0.00044	-0.01287	0.05016	0.05760	0.0500
10.45	0.0005	-0.00043	-0.01240	0.05016	0.05784	0.0500
10.50	0.0005	-0.00042	-0.01192	0.05016	0.05806	0.0500
10.55	0.0005	-0.00041	-0.01142	0.05015	0.05827	0.0500
10.60	0.0005	-0.00040	-0.01091	0.05015	0.05846	0.0500
10.65	0.0005	-0.00039	-0.01040	0.05015	0.05863	0.0500
10.70	0.0005	-0.00039	-0.00987	0.05014	0.05878	0.0500
10.75	0.0005	-0.00038	-0.00933	0.05014	0.05892	0.0500
10.80	0.0005	-0.00037	-0.00879	0.05014	0.05904	0.0500
10.85	0.0004	-0.00036	-0.00824	0.05013	0.05914	0.0500
10.90	0.0004	-0.00035	-0.00768	0.05013	0.05923	0.0500
10.95	0.0004	-0.00034	-0.00713	0.05013	0.05929	0.0500
11.00	0.0004	-0.00034	-0.00656	0.05012	0.05934	0.0500
11.05	0.0004	-0.00033	-0.00600	0.05012	0.05938	0.0500

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
11.10	0.0004	-0.00032	-0.00543	0.05012	0.05939	0.0500
11.15	0.0004	-0.00031	-0.00487	0.05012	0.05939	0.0500
11.20	0.0004	-0.00031	-0.00430	0.05011	0.05938	0.0500
11.25	0.0004	-0.00030	-0.00374	0.05011	0.05934	0.0500
11.30	0.0004	-0.00029	-0.00318	0.05011	0.05930	0.0500
11.35	0.0004	-0.00029	-0.00262	0.05011	0.05923	0.0500
11.40	0.0004	-0.00028	-0.00207	0.05010	0.05915	0.0500
11.45	0.0004	-0.00027	-0.00152	0.05010	0.05906	0.0500
11.50	0.0004	-0.00027	-0.00098	0.05010	0.05896	0.0500
11.55	0.0003	-0.00026	-0.00044	0.05010	0.05884	0.0500
11.60	0.0003	-0.00026	0.00008	0.05009	0.05870	0.0500
11.65	0.0003	-0.00025	0.00060	0.05009	0.05856	0.0500
11.70	0.0003	-0.00024	0.00111	0.05009	0.05840	0.0500
11.75	0.0003	-0.00024	0.00161	0.05009	0.05823	0.0500
11.80	0.0003	-0.00023	0.00209	0.05009	0.05805	0.0500
11.85	0.0003	-0.00023	0.00257	0.05008	0.05785	0.0500
11.90	0.0003	-0.00022	0.00303	0.05008	0.05765	0.0500
11.95	0.0003	-0.00022	0.00349	0.05008	0.05744	0.0500
12.00	0.0003	-0.00021	0.00392	0.05008	0.05722	0.0500
12.05	0.0003	-0.00021	0.00435	0.05008	0.05698	0.0500
12.10	0.0003	-0.00020	0.00476	0.05008	0.05675	0.0500
12.15	0.0003	-0.00020	0.00515	0.05007	0.05650	0.0500
12.20	0.0003	-0.00019	0.00553	0.05007	0.05624	0.0500
12.25	0.0003	-0.00019	0.00590	0.05007	0.05598	0.0500
12.30	0.0003	-0.00019	0.00624	0.05007	0.05572	0.0500
12.35	0.0003	-0.00018	0.00658	0.05007	0.05544	0.0500
12.40	0.0003	-0.00018	0.00689	0.05007	0.05517	0.0500
12.45	0.0003	-0.00017	0.00719	0.05006	0.05488	0.0500
12.50	0.0003	-0.00017	0.00747	0.05006	0.05460	0.0500
12.55	0.0003	-0.00017	0.00773	0.05006	0.05431	0.0500
12.60	0.0003	-0.00016	0.00798	0.05006	0.05402	0.0500
12.65	0.0002	-0.00016	0.00821	0.05006	0.05372	0.0500
12.70	0.0002	-0.00015	0.00842	0.05006	0.05343	0.0500
12.75	0.0002	-0.00015	0.00861	0.05006	0.05313	0.0500
12.80	0.0002	-0.00015	0.00878	0.05005	0.05283	0.0500
12.85	0.0002	-0.00014	0.00894	0.05005	0.05254	0.0500
12.90	0.0002	-0.00014	0.00908	0.05005	0.05224	0.0500
12.95	0.0002	-0.00014	0.00920	0.05005	0.05194	0.0500
13.00	0.0002	-0.00014	0.00930	0.05005	0.05165	0.0500
13.05	0.0002	-0.00013	0.00939	0.05005	0.05136	0.0500
13.10	0.0002	-0.00013	0.00946	0.05005	0.05107	0.0500
13.15	0.0002	-0.00013	0.00951	0.05005	0.05078	0.0500
13.20	0.0002	-0.00012	0.00954	0.05005	0.05050	0.0500
13.25	0.0002	-0.00012	0.00956	0.05004	0.05022	0.0500
13.30	0.0002	-0.00012	0.00956	0.05004	0.04994	0.0500

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
13.35	0.0002	-0.00012	0.00954	0.05004	0.04967	0.0500
13.40	0.0002	-0.00011	0.00951	0.05004	0.04940	0.0500
13.45	0.0002	-0.00011	0.00946	0.05004	0.04914	0.0500
13.50	0.0002	-0.00011	0.00940	0.05004	0.04888	0.0500
13.55	0.0002	-0.00011	0.00932	0.05004	0.04863	0.0500
13.60	0.0002	-0.00010	0.00922	0.05004	0.04839	0.0500
13.65	0.0002	-0.00010	0.00911	0.05004	0.04815	0.0500
13.70	0.0002	-0.00010	0.00899	0.05004	0.04792	0.0500
13.75	0.0002	-0.00010	0.00886	0.05004	0.04770	0.0500
13.80	0.0002	-0.00009	0.00871	0.05003	0.04749	0.0500
13.85	0.0002	-0.00009	0.00855	0.05003	0.04728	0.0500
13.90	0.0002	-0.00009	0.00837	0.05003	0.04708	0.0500
13.95	0.0002	-0.00009	0.00819	0.05003	0.04689	0.0500
14.00	0.0002	-0.00009	0.00799	0.05003	0.04671	0.0500
14.05	0.0002	-0.00008	0.00779	0.05003	0.04654	0.0500
14.10	0.0002	-0.00008	0.00757	0.05003	0.04637	0.0500
14.15	0.0002	-0.00008	0.00734	0.05003	0.04621	0.0500
14.20	0.0002	-0.00008	0.00711	0.05003	0.04607	0.0500
14.25	0.0002	-0.00008	0.00686	0.05003	0.04593	0.0500
14.30	0.0002	-0.00007	0.00661	0.05003	0.04580	0.0500
14.35	0.0002	-0.00007	0.00635	0.05003	0.04568	0.0500
14.40	0.0002	-0.00007	0.00609	0.05003	0.04557	0.0500
14.45	0.0002	-0.00007	0.00582	0.05003	0.04547	0.0500
14.50	0.0002	-0.00007	0.00554	0.05003	0.04538	0.0500
14.55	0.0002	-0.00007	0.00526	0.05002	0.04530	0.0500
14.60	0.0002	-0.00007	0.00497	0.05002	0.04523	0.0500
14.65	0.0002	-0.00006	0.00468	0.05002	0.04516	0.0500
14.70	0.0002	-0.00006	0.00438	0.05002	0.04511	0.0500
14.75	0.0002	-0.00006	0.00409	0.05002	0.04507	0.0500
14.80	0.0002	-0.00006	0.00379	0.05002	0.04503	0.0500
14.85	0.0002	-0.00006	0.00349	0.05002	0.04500	0.0500
14.90	0.0002	-0.00006	0.00319	0.05002	0.04499	0.0500
14.95	0.0001	-0.00006	0.00288	0.05002	0.04498	0.0500
15.00	0.0001	-0.00005	0.00258	0.05002	0.04498	0.0500

Hasil Simulasi Fungsi Tangga :

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
0.05	0.0000	-0.00180	-0.00180	0.00001	0.00001	0.0300
0.10	0.0045	-0.00359	-0.00360	0.00026	0.00008	0.0300
0.15	0.0062	-0.00536	-0.00539	0.00086	0.00022	0.0300
0.20	0.0080	-0.00708	-0.00716	0.00178	0.00046	0.0300
0.25	0.0096	-0.00873	-0.00892	0.00295	0.00079	0.0300
0.30	0.0112	-0.01031	-0.01066	0.00434	0.00121	0.0300
0.35	0.0126	-0.01180	-0.01236	0.00589	0.00171	0.0300
0.40	0.0140	-0.01319	-0.01404	0.00759	0.00228	0.0300
0.45	0.0152	-0.01447	-0.01567	0.00938	0.00293	0.0300
0.50	0.0163	-0.01565	-0.01727	0.01123	0.00364	0.0300
0.55	0.0173	-0.01671	-0.01882	0.01312	0.00440	0.0300
0.60	0.0182	-0.01766	-0.02032	0.01502	0.00522	0.0300
0.65	0.0190	-0.01849	-0.02177	0.01692	0.00609	0.0300
0.70	0.0197	-0.01921	-0.02317	0.01878	0.00700	0.0300
0.75	0.0202	-0.01982	-0.02451	0.02059	0.00795	0.0300
0.80	0.0207	-0.02032	-0.02579	0.02235	0.00894	0.0300
0.85	0.0210	-0.02072	-0.02701	0.02403	0.00995	0.0300
0.90	0.0213	-0.02102	-0.02817	0.02562	0.01099	0.0300
0.95	0.0214	-0.02122	-0.02926	0.02713	0.01206	0.0300
1.00	0.0215	-0.02134	-0.03029	0.02854	0.01315	0.0300
1.05	0.0215	-0.02138	-0.03125	0.02984	0.01425	0.0300
1.10	0.0214	-0.02134	-0.03215	0.03105	0.01537	0.0300
1.15	0.0213	-0.02123	-0.03298	0.03215	0.01650	0.0300
1.20	0.0211	-0.02106	-0.03373	0.03315	0.01764	0.0300
1.25	0.0208	-0.02084	-0.03443	0.03404	0.01878	0.0300
1.30	0.0204	-0.02056	-0.03505	0.03482	0.01993	0.0300
1.35	0.0200	-0.02024	-0.03560	0.03551	0.02108	0.0300
1.40	0.0196	-0.01988	-0.03608	0.03609	0.02223	0.0300
1.45	0.0192	-0.01949	-0.03650	0.03659	0.02337	0.0300
1.50	0.0187	-0.01907	-0.03684	0.03700	0.02451	0.0300
1.55	0.0182	-0.01863	-0.03712	0.03733	0.02564	0.0300
1.60	0.0178	-0.01818	-0.03733	0.03758	0.02677	0.0300
1.65	0.0173	-0.01771	-0.03747	0.03777	0.02788	0.0300
1.70	0.0168	-0.01723	-0.03754	0.03789	0.02897	0.0300
1.75	0.0163	-0.01674	-0.03756	0.03796	0.03006	0.0300
1.80	0.0158	-0.01626	-0.03750	0.03797	0.03112	0.0300
1.85	0.0153	-0.01577	-0.03738	0.03794	0.03217	0.0300
1.90	0.0148	-0.01529	-0.03720	0.03787	0.03320	0.0300
1.95	0.0143	-0.01481	-0.03696	0.03777	0.03420	0.0300
2.00	0.0139	-0.01434	-0.03666	0.03764	0.03518	0.0300
2.05	0.0134	-0.01388	-0.03630	0.03748	0.03614	0.0300
2.10	0.0130	-0.01343	-0.03589	0.03730	0.03707	0.0300
2.15	0.0126	-0.01299	-0.03542	0.03710	0.03798	0.0300

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
2.20	0.0121	-0.01257	-0.03490	0.03689	0.03886	0.0300
2.25	0.0117	-0.01215	-0.03432	0.03667	0.03970	0.0300
2.30	0.0114	-0.01176	-0.03370	0.03643	0.04052	0.0300
2.35	0.0110	-0.01137	-0.03303	0.03620	0.04131	0.0300
2.40	0.0106	-0.01100	-0.03231	0.03596	0.04206	0.0300
2.45	0.0103	-0.01064	-0.03155	0.03572	0.04279	0.0300
2.50	0.0100	-0.01030	-0.03074	0.03548	0.04347	0.0300
2.55	0.0097	-0.00998	-0.02990	0.03525	0.04413	0.0300
2.60	0.0094	-0.00966	-0.02902	0.03502	0.04475	0.0300
2.65	0.0091	-0.00937	-0.02810	0.03479	0.04533	0.0300
2.70	0.0088	-0.00908	-0.02715	0.03457	0.04588	0.0300
2.75	0.0085	-0.00881	-0.02617	0.03436	0.04639	0.0300
2.80	0.0083	-0.00855	-0.02516	0.03415	0.04687	0.0300
2.85	0.0081	-0.00830	-0.02412	0.03396	0.04731	0.0300
2.90	0.0078	-0.00806	-0.02306	0.03377	0.04771	0.0300
2.95	0.0076	-0.00784	-0.02198	0.03359	0.04807	0.0300
3.00	0.0074	-0.00763	-0.02087	0.03342	0.04840	0.0300
3.05	0.0072	-0.00742	-0.01975	0.03326	0.04869	0.0300
3.10	0.0071	-0.00723	-0.01861	0.03311	0.04895	0.0300
3.15	0.0069	-0.00704	-0.01746	0.03297	0.04917	0.0300
3.20	0.0067	-0.00686	-0.01629	0.03284	0.04935	0.0300
3.25	0.0066	-0.00669	-0.01512	0.03272	0.04949	0.0300
3.30	0.0064	-0.00653	-0.01394	0.03260	0.04960	0.0300
3.35	0.0063	-0.00637	-0.01275	0.03249	0.04968	0.0300
3.40	0.0061	-0.00622	-0.01157	0.03239	0.04971	0.0300
3.45	0.0060	-0.00608	-0.01038	0.03230	0.04972	0.0300
3.50	0.0058	-0.00594	-0.00919	0.03221	0.04969	0.0300
3.55	0.0057	-0.00581	-0.00801	0.03213	0.04963	0.0300
3.60	0.0056	-0.00568	-0.00683	0.03206	0.04953	0.0300
3.65	0.0055	-0.00556	-0.00566	0.03199	0.04940	0.0300
3.70	0.0054	-0.00544	-0.00449	0.03193	0.04924	0.0300
3.75	0.0052	-0.00532	-0.00334	0.03187	0.04905	0.0300
3.80	0.0051	-0.00521	-0.00220	0.03181	0.04883	0.0300
3.85	0.0050	-0.00510	-0.00108	0.03176	0.04859	0.0300
3.90	0.0049	-0.00499	0.00003	0.03172	0.04831	0.0300
3.95	0.0048	-0.00488	0.00112	0.03167	0.04801	0.0300
4.00	0.0047	-0.00478	0.00219	0.03163	0.04768	0.0300
4.05	0.0046	-0.00468	0.00323	0.03160	0.04732	0.0300
4.10	0.0045	-0.00459	0.00426	0.03156	0.04695	0.0300
4.15	0.0044	-0.00449	0.00526	0.03153	0.04654	0.0300
4.20	0.0044	-0.00440	0.00624	0.03150	0.04612	0.0300
4.25	0.0043	-0.00431	0.00719	0.03147	0.04568	0.0300
4.30	0.0042	-0.00422	0.00811	0.03144	0.04521	0.0300
4.35	0.0041	-0.00413	0.00901	0.03141	0.04473	0.0300
4.40	0.0040	-0.00404	0.00987	0.03139	0.04423	0.0300

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
4.45	0.0039	-0.00396	0.01071	0.03136	0.04371	0.0300
4.50	0.0038	-0.00388	0.01151	0.03134	0.04318	0.0300
4.55	0.0038	-0.00380	0.01228	0.03132	0.04264	0.0300
4.60	0.0037	-0.00372	0.01301	0.03129	0.04208	0.0300
4.65	0.0036	-0.00364	0.01371	0.03127	0.04151	0.0300
4.70	0.0035	-0.00356	0.01438	0.03125	0.04093	0.0300
4.75	0.0035	-0.00348	0.01501	0.03123	0.04034	0.0300
4.80	0.0034	-0.00341	0.01560	0.03121	0.03974	0.0300
4.85	0.0033	-0.00333	0.01616	0.03119	0.03913	0.0300
4.90	0.0032	-0.00326	0.01668	0.03117	0.03852	0.0300
4.95	0.0032	-0.00319	0.01717	0.03115	0.03790	0.0300
5.00	0.0031	-0.00312	0.01761	0.03112	0.03728	0.0300
5.05	0.0030	-0.00305	0.01802	0.03110	0.03666	0.0300
5.10	0.0030	-0.00299	0.01839	0.03108	0.03604	0.0300
5.15	0.0029	-0.00292	0.01873	0.03106	0.03541	0.0300
5.20	0.0028	-0.00286	0.01902	0.03104	0.03479	0.0300
5.25	0.0028	-0.00279	0.01928	0.03102	0.03417	0.0300
5.30	0.0027	-0.00273	0.01951	0.03100	0.03355	0.0300
5.35	0.0027	-0.00267	0.01969	0.03099	0.03293	0.0300
5.40	0.0026	-0.00261	0.01984	0.03097	0.03232	0.0300
5.45	0.0025	-0.00255	0.01995	0.03095	0.03172	0.0300
5.50	0.0025	-0.00249	0.02002	0.03093	0.03112	0.0300
5.55	0.0024	-0.00244	0.02006	0.03091	0.03053	0.0300
5.60	0.0024	-0.00238	0.02007	0.03089	0.02995	0.0300
5.65	0.0023	-0.00233	0.02004	0.03087	0.02938	0.0300
5.70	0.0023	-0.00227	0.01997	0.03085	0.02882	0.0300
5.75	0.0022	-0.00222	0.01988	0.03083	0.02827	0.0300
5.80	0.0022	-0.00217	0.01975	0.03082	0.02773	0.0300
5.85	0.0021	-0.00212	0.01958	0.03080	0.02720	0.0300
5.90	0.0021	-0.00207	0.01939	0.03078	0.02669	0.0300
5.95	0.0020	-0.00203	0.01917	0.03076	0.02619	0.0300
6.00	0.0020	-0.00198	0.01892	0.03075	0.02571	0.0300
6.05	0.0019	-0.00194	0.01863	0.03073	0.02524	0.0300
6.10	0.0019	-0.00189	0.01833	0.03071	0.02479	0.0300
6.15	0.0019	-0.00185	0.01799	0.03070	0.02435	0.0300
6.20	0.0018	-0.00181	0.01763	0.03068	0.02393	0.0300
6.25	0.0018	-0.00177	0.01724	0.03066	0.02353	0.0300
6.30	0.0017	-0.00172	0.01684	0.03065	0.02314	0.0300
6.35	0.0017	-0.00169	0.01641	0.03063	0.02277	0.0300
6.40	0.0017	-0.00165	0.01595	0.03062	0.02243	0.0300
6.45	0.0016	-0.00161	0.01548	0.03060	0.02210	0.0300
6.50	0.0016	-0.00157	0.01499	0.03059	0.02179	0.0300
6.55	0.0016	-0.00154	0.01448	0.03058	0.02149	0.0300
6.60	0.0015	-0.00150	0.01395	0.03056	0.02122	0.0300
6.65	0.0015	-0.00147	0.01341	0.03055	0.02097	0.0300

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
6.70	0.0015	-0.00143	0.01286	0.03054	0.02073	0.0300
6.75	0.0014	-0.00140	0.01229	0.03052	0.02052	0.0300
6.80	0.0014	-0.00137	0.01171	0.03051	0.02033	0.0300
6.85	0.0014	-0.00134	0.01112	0.03050	0.02015	0.0300
6.90	0.0013	-0.00131	0.01052	0.03049	0.02000	0.0300
6.95	0.0013	-0.00128	0.00991	0.03048	0.01986	0.0300
7.00	0.0013	-0.00125	0.00929	0.03047	0.01975	0.0300
7.05	0.0012	-0.00122	0.00867	0.03046	0.01965	0.0300
7.10	0.0012	-0.00119	0.00804	0.03045	0.01958	0.0300
7.15	0.0012	-0.00117	0.00741	0.03043	0.01952	0.0300
7.20	0.0012	-0.00114	0.00677	0.03042	0.01948	0.0300
7.25	0.0011	-0.00112	0.00614	0.03041	0.01946	0.0300
7.30	0.0011	-0.00109	0.00550	0.03041	0.01946	0.0300
7.35	0.0011	-0.00107	0.00487	0.03040	0.01948	0.0300
7.40	0.0011	-0.00104	0.00424	0.03039	0.01951	0.0300
7.45	0.0010	-0.00102	0.00361	0.03038	0.01956	0.0300
7.50	0.0010	-0.00100	0.00298	0.03037	0.01963	0.0300
7.55	0.0010	0.00263	0.00596	0.03034	0.01970	-0.0300
7.60	-0.0165	0.00623	0.00894	0.02949	0.01967	-0.0300
7.65	-0.0200	0.00974	0.01191	0.02754	0.01949	-0.0300
7.70	-0.0230	0.01311	0.01486	0.02486	0.01915	-0.0300
7.75	-0.0258	0.01630	0.01779	0.02172	0.01864	-0.0300
7.80	-0.0282	0.01929	0.02068	0.01827	0.01797	-0.0300
7.85	-0.0304	0.02207	0.02352	0.01465	0.01715	-0.0300
7.90	-0.0323	0.02462	0.02631	0.01094	0.01619	-0.0300
7.95	-0.0340	0.02696	0.02903	0.00720	0.01510	-0.0300
8.00	-0.0354	0.02906	0.03169	0.00349	0.01390	-0.0300
8.05	-0.0366	0.03095	0.03427	-0.00015	0.01259	-0.0300
8.10	-0.0376	0.03261	0.03676	-0.00370	0.01119	-0.0300
8.15	-0.0384	0.03407	0.03917	-0.00712	0.00970	-0.0300
8.20	-0.0389	0.03533	0.04149	-0.01039	0.00814	-0.0300
8.25	-0.0394	0.03639	0.04371	-0.01349	0.00650	-0.0300
8.30	-0.0396	0.03728	0.04582	-0.01642	0.00481	-0.0300
8.35	-0.0398	0.03799	0.04784	-0.01917	0.00307	-0.0300
8.40	-0.0398	0.03854	0.04974	-0.02173	0.00128	-0.0300
8.45	-0.0397	0.03895	0.05154	-0.02411	-0.00056	-0.0300
8.50	-0.0394	0.03921	0.05322	-0.02630	-0.00242	-0.0300
8.55	-0.0391	0.03936	0.05479	-0.02832	-0.00432	-0.0300
8.60	-0.0388	0.03938	0.05625	-0.03016	-0.00624	-0.0300
8.65	-0.0383	0.03930	0.05759	-0.03182	-0.00818	-0.0300
8.70	-0.0382	0.03913	0.05881	-0.03334	-0.01013	-0.0300
8.75	-0.0378	0.03886	0.05991	-0.03473	-0.01209	-0.0300
8.80	-0.0374	0.03852	0.06090	-0.03600	-0.01406	-0.0300
8.85	-0.0370	0.03811	0.06177	-0.03715	-0.01603	-0.0300
8.90	-0.0364	0.03763	0.06252	-0.03818	-0.01799	-0.0300

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
8.95	-0.0358	0.03709	0.06315	-0.03909	-0.01995	-0.0300
9.00	-0.0352	0.03650	0.06366	-0.03990	-0.02189	-0.0300
9.05	-0.0345	0.03587	0.06406	-0.04060	-0.02382	-0.0300
9.10	-0.0338	0.03520	0.06434	-0.04119	-0.02574	-0.0300
9.15	-0.0331	0.03449	0.06450	-0.04169	-0.02763	-0.0300
9.20	-0.0323	0.03376	0.06456	-0.04209	-0.02949	-0.0300
9.25	-0.0316	0.03301	0.06450	-0.04240	-0.03133	-0.0300
9.30	-0.0308	0.03224	0.06433	-0.04264	-0.03314	-0.0300
9.35	-0.0300	0.03146	0.06406	-0.04280	-0.03492	-0.0300
9.40	-0.0292	0.03068	0.06368	-0.04288	-0.03666	-0.0300
9.45	-0.0284	0.02989	0.06320	-0.04291	-0.03836	-0.0300
9.50	-0.0276	0.02910	0.06262	-0.04287	-0.04002	-0.0300
9.55	-0.0269	0.02831	0.06193	-0.04279	-0.04163	-0.0300
9.60	-0.0261	0.02754	0.06116	-0.04265	-0.04320	-0.0300
9.65	-0.0253	0.02677	0.06029	-0.04248	-0.04473	-0.0300
9.70	-0.0246	0.02601	0.05933	-0.04227	-0.04620	-0.0300
9.75	-0.0238	0.02527	0.05829	-0.04203	-0.04762	-0.0300
9.80	-0.0231	0.02454	0.05716	-0.04176	-0.04899	-0.0300
9.85	-0.0224	0.02383	0.05595	-0.04148	-0.05031	-0.0300
9.90	-0.0217	0.02314	0.05467	-0.04117	-0.05157	-0.0300
9.95	-0.0211	0.02247	0.05331	-0.04085	-0.05277	-0.0300
10.00	-0.0205	0.02182	0.05188	-0.04052	-0.05391	-0.0300
10.05	-0.0198	0.02119	0.05039	-0.04019	-0.05500	-0.0300
10.10	-0.0192	0.02058	0.04884	-0.03985	-0.05602	-0.0300
10.15	-0.0187	0.01998	0.04722	-0.03951	-0.05698	-0.0300
10.20	-0.0181	0.01941	0.04555	-0.03917	-0.05788	-0.0300
10.25	-0.0176	0.01887	0.04383	-0.03883	-0.05872	-0.0300
10.30	-0.0171	0.01834	0.04206	-0.03850	-0.05950	-0.0300
10.35	-0.0166	0.01783	0.04025	-0.03817	-0.06021	-0.0300
10.40	-0.0161	0.01734	0.03840	-0.03785	-0.06086	-0.0300
10.45	-0.0156	0.01687	0.03651	-0.03754	-0.06144	-0.0300
10.50	-0.0152	0.01642	0.03459	-0.03725	-0.06197	-0.0300
10.55	-0.0148	0.01598	0.03264	-0.03696	-0.06242	-0.0300
10.60	-0.0144	0.01556	0.03067	-0.03668	-0.06282	-0.0300
10.65	-0.0140	0.01516	0.02867	-0.03642	-0.06315	-0.0300
10.70	-0.0136	0.01478	0.02666	-0.03616	-0.06342	-0.0300
10.75	-0.0133	0.01441	0.02464	-0.03592	-0.06363	-0.0300
10.80	-0.0129	0.01405	0.02260	-0.03569	-0.06378	-0.0300
10.85	-0.0126	0.01371	0.02056	-0.03547	-0.06387	-0.0300
10.90	-0.0123	0.01338	0.01852	-0.03527	-0.06389	-0.0300
10.95	-0.0120	0.01307	0.01648	-0.03507	-0.06386	-0.0300
11.00	-0.0117	0.01276	0.01444	-0.03489	-0.06377	-0.0300
11.05	-0.0114	0.01247	0.01241	-0.03472	-0.06363	-0.0300
11.10	-0.0111	0.01218	0.01039	-0.03456	-0.06343	-0.0300
11.15	-0.0108	0.01191	0.00839	-0.03440	-0.06317	-0.0300

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
11.20	-0.0106	0.01164	0.00641	-0.03426	-0.06286	-0.0300
11.25	-0.0103	0.01138	0.00444	-0.03413	-0.06250	-0.0300
11.30	-0.0101	0.01113	0.00250	-0.03400	-0.06209	-0.0300
11.35	-0.0098	0.01089	0.00059	-0.03388	-0.06163	-0.0300
11.40	-0.0096	0.01066	-0.00129	-0.03377	-0.06113	-0.0300
11.45	-0.0094	0.01043	-0.00314	-0.03367	-0.06058	-0.0300
11.50	-0.0092	0.01021	-0.00496	-0.03357	-0.05998	-0.0300
11.55	-0.0090	0.00999	-0.00673	-0.03348	-0.05935	-0.0300
11.60	-0.0087	0.00978	-0.00847	-0.03340	-0.05867	-0.0300
11.65	-0.0085	0.00957	-0.01017	-0.03332	-0.05795	-0.0300
11.70	-0.0083	0.00937	-0.01182	-0.03324	-0.05720	-0.0300
11.75	-0.0082	0.00917	-0.01342	-0.03317	-0.05642	-0.0300
11.80	-0.0080	0.00898	-0.01497	-0.03310	-0.05560	-0.0300
11.85	-0.0078	0.00879	-0.01647	-0.03303	-0.05475	-0.0300
11.90	-0.0076	0.00861	-0.01792	-0.03297	-0.05387	-0.0300
11.95	-0.0074	0.00843	-0.01932	-0.03291	-0.05296	-0.0300
12.00	-0.0072	0.00825	-0.02066	-0.03286	-0.05203	-0.0300
12.05	-0.0071	0.00808	-0.02194	-0.03280	-0.05108	-0.0300
12.10	-0.0069	0.00791	-0.02317	-0.03275	-0.05011	-0.0300
12.15	-0.0067	0.00774	-0.02433	-0.03270	-0.04911	-0.0300
12.20	-0.0066	0.00757	-0.02544	-0.03265	-0.04810	-0.0300
12.25	-0.0064	0.00741	-0.02648	-0.03260	-0.04708	-0.0300
12.30	-0.0063	0.00726	-0.02746	-0.03255	-0.04604	-0.0300
12.35	-0.0061	0.00710	-0.02838	-0.03250	-0.04499	-0.0300
12.40	-0.0060	0.00695	-0.02923	-0.03246	-0.04394	-0.0300
12.45	-0.0058	0.00680	-0.03002	-0.03241	-0.04287	-0.0300
12.50	-0.0057	0.00665	-0.03074	-0.03237	-0.04181	-0.0300
12.55	-0.0055	0.00651	-0.03141	-0.03232	-0.04073	-0.0300
12.60	-0.0054	0.00637	-0.03200	-0.03228	-0.03966	-0.0300
12.65	-0.0053	0.00623	-0.03253	-0.03224	-0.03859	-0.0300
12.70	-0.0051	0.00609	-0.03300	-0.03220	-0.03752	-0.0300
12.75	-0.0050	0.00596	-0.03340	-0.03216	-0.03645	-0.0300
12.80	-0.0049	0.00583	-0.03374	-0.03211	-0.03539	-0.0300
12.85	-0.0047	0.00570	-0.03402	-0.03207	-0.03434	-0.0300
12.90	-0.0046	0.00557	-0.03423	-0.03203	-0.03330	-0.0300
12.95	-0.0045	0.00545	-0.03438	-0.03199	-0.03227	-0.0300
13.00	-0.0044	0.00533	-0.03447	-0.03195	-0.03125	-0.0300
13.05	-0.0042	0.00521	-0.03449	-0.03191	-0.03025	-0.0300
13.10	-0.0041	0.00509	-0.03446	-0.03187	-0.02926	-0.0300
13.15	-0.0040	0.00498	-0.03437	-0.03184	-0.02829	-0.0300
13.20	-0.0039	0.00487	-0.03422	-0.03180	-0.02734	-0.0300
13.25	-0.0038	0.00476	-0.03402	-0.03176	-0.02640	-0.0300
13.30	-0.0037	0.00465	-0.03376	-0.03172	-0.02549	-0.0300
13.35	-0.0036	0.00455	-0.03344	-0.03169	-0.02460	-0.0300
13.40	-0.0035	0.00445	-0.03308	-0.03165	-0.02374	-0.0300

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
13.45	-0.0034	0.00435	-0.03266	-0.03161	-0.02290	-0.0300
13.50	-0.0033	0.00425	-0.03219	-0.03158	-0.02209	-0.0300
13.55	-0.0032	0.00415	-0.03168	-0.03154	-0.02130	-0.0300
13.60	-0.0031	0.00406	-0.03112	-0.03151	-0.02054	-0.0300
13.65	-0.0030	0.00397	-0.03051	-0.03148	-0.01981	-0.0300
13.70	-0.0029	0.00388	-0.02986	-0.03144	-0.01910	-0.0300
13.75	-0.0029	0.00379	-0.02918	-0.03141	-0.01843	-0.0300
13.80	-0.0028	0.00370	-0.02845	-0.03138	-0.01779	-0.0300
13.85	-0.0027	0.00362	-0.02768	-0.03135	-0.01718	-0.0300
13.90	-0.0026	0.00354	-0.02688	-0.03132	-0.01660	-0.0300
13.95	-0.0025	0.00346	-0.02605	-0.03129	-0.01606	-0.0300
14.00	-0.0024	0.00338	-0.02518	-0.03126	-0.01554	-0.0300
14.05	-0.0024	0.00330	-0.02429	-0.03123	-0.01507	-0.0300
14.10	-0.0023	0.00323	-0.02337	-0.03120	-0.01462	-0.0300
14.15	-0.0022	0.00316	-0.02242	-0.03117	-0.01421	-0.0300
14.20	-0.0022	0.00309	-0.02145	-0.03114	-0.01383	-0.0300
14.25	-0.0021	0.00302	-0.02046	-0.03112	-0.01348	-0.0300
14.30	-0.0020	0.00295	-0.01945	-0.03109	-0.01317	-0.0300
14.35	-0.0020	0.00288	-0.01842	-0.03107	-0.01289	-0.0300
14.40	-0.0019	0.00282	-0.01738	-0.03104	-0.01265	-0.0300
14.45	-0.0018	0.00276	-0.01632	-0.03102	-0.01244	-0.0300
14.50	-0.0018	0.00269	-0.01526	-0.03100	-0.01227	-0.0300
14.55	-0.0017	0.00263	-0.01418	-0.03097	-0.01212	-0.0300
14.60	-0.0017	0.00257	-0.01310	-0.03095	-0.01202	-0.0300
14.65	-0.0016	0.00252	-0.01201	-0.03093	-0.01194	-0.0300
14.70	-0.0015	0.00246	-0.01092	-0.03091	-0.01189	-0.0300
14.75	-0.0015	0.00241	-0.00983	-0.03089	-0.01188	-0.0300
14.80	-0.0014	0.00235	-0.00874	-0.03087	-0.01190	-0.0300
14.85	-0.0014	0.00230	-0.00765	-0.03085	-0.01195	-0.0300
14.90	-0.0013	0.00225	-0.00656	-0.03083	-0.01203	-0.0300
14.95	-0.0013	0.00220	-0.00548	-0.03081	-0.01214	-0.0300
15.00	-0.0012	0.00215	-0.00441	-0.03079	-0.01228	-0.0300

Hasil Simulasi Fungsi Segitiga :

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
0.05	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0007
0.10	0.0001	-0.00004	-0.00004	0.00000	0.00000	0.0013
0.15	0.0002	-0.00012	-0.00012	0.00001	0.00000	0.0020
0.20	0.0004	-0.00024	-0.00024	0.00003	0.00001	0.0027
0.25	0.0006	-0.00040	-0.00040	0.00006	0.00002	0.0033
0.30	0.0009	-0.00059	-0.00060	0.00013	0.00003	0.0040
0.35	0.0012	-0.00082	-0.00083	0.00023	0.00006	0.0047
0.40	0.0015	-0.00108	-0.00111	0.00036	0.00010	0.0053
0.45	0.0018	-0.00138	-0.00142	0.00053	0.00015	0.0060
0.50	0.0022	-0.00170	-0.00177	0.00074	0.00022	0.0067
0.55	0.0026	-0.00204	-0.00215	0.00099	0.00030	0.0073
0.60	0.0030	-0.00242	-0.00257	0.00128	0.00039	0.0080
0.65	0.0034	-0.00281	-0.00302	0.00161	0.00051	0.0087
0.70	0.0038	-0.00322	-0.00351	0.00199	0.00065	0.0093
0.75	0.0043	-0.00365	-0.00402	0.00241	0.00080	0.0100
0.80	0.0047	-0.00409	-0.00457	0.00287	0.00098	0.0107
0.85	0.0052	-0.00454	-0.00514	0.00336	0.00118	0.0113 ----
0.90	0.0057	-0.00500	-0.00574	0.00390	0.00140	0.0120
0.95	0.0062	-0.00546	-0.00637	0.00447	0.00164	0.0127
1.00	0.0066	-0.00594	-0.00702	0.00507	0.00191	0.0133
1.05	0.0071	-0.00641	-0.00769	0.00571	0.00220	0.0140
1.10	0.0076	-0.00688	-0.00839	0.00637	0.00252	0.0147
1.15	0.0081	-0.00736	-0.00910	0.00706	0.00286	0.0153
1.20	0.0085	-0.00783	-0.00983	0.00777	0.00323	0.0160
1.25	0.0090	-0.00830	-0.01058	0.00851	0.00362	0.0167
1.30	0.0094	-0.00876	-0.01135	0.00927	0.00404	0.0173
1.35	0.0099	-0.00922	-0.01213	0.01004	0.00448	0.0180
1.40	0.0103	-0.00967	-0.01292	0.01083	0.00495	0.0187
1.45	0.0108	-0.01011	-0.01372	0.01163	0.00544	0.0193
1.50	0.0112	-0.01054	-0.01453	0.01244	0.00596	0.0200
1.55	0.0116	-0.01097	-0.01535	0.01327	0.00651	0.0207
1.60	0.0120	-0.01138	-0.01618	0.01410	0.00708	0.0213
1.65	0.0124	-0.01179	-0.01701	0.01494	0.00767	0.0220
1.70	0.0128	-0.01218	-0.01784	0.01578	0.00829	0.0227
1.75	0.0131	-0.01256	-0.01868	0.01662	0.00894	0.0233
1.80	0.0135	-0.01293	-0.01951	0.01747	0.00961	0.0240
1.85	0.0138	-0.01329	-0.02035	0.01831	0.01030	0.0247
1.90	0.0142	-0.01364	-0.02118	0.01916	0.01101	0.0253
1.95	0.0145	-0.01398	-0.02200	0.02001	0.01175	0.0260
2.00	0.0148	-0.01431	-0.02283	0.02085	0.01251	0.0267
2.05	0.0151	-0.01463	-0.02364	0.02169	0.01329	0.0273
2.10	0.0154	-0.01494	-0.02445	0.02252	0.01410	0.0280
2.15	0.0157	-0.01523	-0.02525	0.02336	0.01492	0.0287

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
2.20	0.0159	-0.01552	-0.02603	0.02418	0.01577	0.0293
2.25	0.0162	-0.01580	-0.02681	0.02501	0.01663	0.0300
2.30	0.0165	-0.01606	-0.02757	0.02583	0.01751	0.0307
2.35	0.0167	-0.01632	-0.02832	0.02664	0.01841	0.0313
2.40	0.0169	-0.01657	-0.02906	0.02744	0.01933	0.0320
2.45	0.0172	-0.01682	-0.02977	0.02824	0.02027	0.0327
2.50	0.0174	-0.01705	-0.03048	0.02904	0.02122	0.0333
2.55	0.0176	-0.01728	-0.03116	0.02983	0.02219	0.0340
2.60	0.0178	-0.01749	-0.03182	0.03061	0.02317	0.0347
2.65	0.0180	-0.01771	-0.03247	0.03139	0.02416	0.0354
2.70	0.0182	-0.01791	-0.03309	0.03217	0.02517	0.0360
2.75	0.0184	-0.01811	-0.03370	0.03293	0.02619	0.0367
2.80	0.0186	-0.01830	-0.03428	0.03370	0.02722	0.0374
2.85	0.0188	-0.01849	-0.03484	0.03446	0.02826	0.0380
2.90	0.0189	-0.01867	-0.03538	0.03521	0.02931	0.0387
2.95	0.0191	-0.01885	-0.03589	0.03596	0.03037	0.0394
3.00	0.0193	-0.01902	-0.03638	0.03670	0.03144	0.0400
3.05	0.0194	-0.01919	-0.03684	0.03745	0.03252	0.0407
3.10	0.0196	-0.01935	-0.03728	0.03818	0.03360	0.0414
3.15	0.0197	-0.01951	-0.03769	0.03892	0.03469	0.0420
3.20	0.0199	-0.01966	-0.03808	0.03965	0.03578	0.0427
3.25	0.0200	-0.01981	-0.03844	0.04038	0.03688	0.0434
3.30	0.0202	-0.01996	-0.03878	0.04110	0.03798	0.0440
3.35	0.0203	-0.02011	-0.03909	0.04182	0.03908	0.0447
3.40	0.0204	-0.02025	-0.03937	0.04254	0.04019	0.0454
3.45	0.0206	-0.02038	-0.03963	0.04326	0.04129	0.0460
3.50	0.0207	-0.02052	-0.03986	0.04397	0.04240	0.0467
3.55	0.0208	-0.02065	-0.04007	0.04469	0.04350	0.0474
3.60	0.0210	-0.02078	-0.04024	0.04540	0.04461	0.0480
3.65	0.0211	-0.02090	-0.04040	0.04611	0.04571	0.0487
3.70	0.0212	-0.02103	-0.04052	0.04682	0.04681	0.0506
3.75	0.0215	-0.02122	-0.04070	0.04753	0.04790	0.0500
3.80	0.0215	-0.02134	-0.04077	0.04824	0.04900	0.0493
3.85	0.0214	-0.02137	-0.04073	0.04896	0.05008	0.0486
3.90	0.0213	-0.02132	-0.04060	0.04967	0.05116	0.0480
3.95	0.0210	-0.02119	-0.04035	0.05034	0.05223	0.0473
4.00	0.0206	-0.02097	-0.04000	0.05097	0.05328	0.0466
4.05	0.0201	-0.02069	-0.03955	0.05154	0.05431	0.0460
4.10	0.0196	-0.02033	-0.03900	0.05204	0.05531	0.0453
4.15	0.0190	-0.01990	-0.03836	0.05247	0.05628	0.0446
4.20	0.0184	-0.01941	-0.03761	0.05281	0.05722	0.0440
4.25	0.0178	-0.01886	-0.03677	0.05307	0.05811	0.0433
4.30	0.0170	-0.01826	-0.03584	0.05324	0.05897	0.0426
4.35	0.0163	-0.01761	-0.03482	0.05333	0.05978	0.0420
4.40	0.0155	-0.01692	-0.03371	0.05332	0.06054	0.0413

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
4.45	0.0147	-0.01620	-0.03251	0.05324	0.06125	0.0406
4.50	0.0139	-0.01544	-0.03124	0.05307	0.06191	0.0400
4.55	0.0131	-0.01465	-0.02989	0.05283	0.06252	0.0393
4.60	0.0122	-0.01384	-0.02847	0.05251	0.06307	0.0386
4.65	0.0113	-0.01301	-0.02697	0.05211	0.06356	0.0380
4.70	0.0105	-0.01217	-0.02541	0.05165	0.06399	0.0373
4.75	0.0096	-0.01132	-0.02378	0.05113	0.06437	0.0366
4.80	0.0087	-0.01046	-0.02210	0.05054	0.06468	0.0360
4.85	0.0079	-0.00960	-0.02036	0.04990	0.06493	0.0353
4.90	0.0070	-0.00874	-0.01857	0.04921	0.06511	0.0346
4.95	0.0062	-0.00788	-0.01672	0.04848	0.06523	0.0340
5.00	0.0054	-0.00703	-0.01484	0.04770	0.06529	0.0333
5.05	0.0045	-0.00619	-0.01291	0.04689	0.06528	0.0326
5.10	0.0037	-0.00536	-0.01095	0.04604	0.06521	0.0320
5.15	0.0029	-0.00454	-0.00895	0.04517	0.06507	0.0313
5.20	0.0022	-0.00373	-0.00693	0.04427	0.06487	0.0306
5.25	0.0014	-0.00294	-0.00488	0.04335	0.06460	0.0300
5.30	0.0007	-0.00216	-0.00281	0.04241	0.06427	0.0293
5.35	-0.0001	-0.00140	-0.00072	0.04146	0.06387	0.0286
5.40	-0.0008	-0.00066	0.00138	0.04050	0.06341	0.0280
5.45	-0.0011	0.00006	0.00349	0.03953	0.06289	0.0273
5.50	-0.0032	0.00077	0.00560	0.03856	0.06230	0.0266
5.55	-0.0038	0.00145	0.00772	0.03755	0.06165	0.0260
5.60	-0.0044	0.00212	0.00984	0.03648	0.06095	0.0253
5.65	-0.0049	0.00275	0.01195	0.03539	0.06018	0.0246
5.70	-0.0054	0.00337	0.01405	0.03431	0.05935	0.0240
5.75	-0.0058	0.00395	0.01614	0.03325	0.05847	0.0233
5.80	-0.0063	0.00452	0.01821	0.03221	0.05753	0.0226
5.85	-0.0067	0.00506	0.02027	0.03120	0.05654	0.0220
5.90	-0.0072	0.00558	0.02230	0.03022	0.05549	0.0213
5.95	-0.0076	0.00608	0.02431	0.02926	0.05439	0.0206
6.00	-0.0080	0.00657	0.02629	0.02833	0.05324	0.0200
6.05	-0.0084	0.00704	0.02824	0.02742	0.05205	0.0193
6.10	-0.0088	0.00750	0.03015	0.02652	0.05080	0.0186
6.15	-0.0092	0.00794	0.03203	0.02564	0.04952	0.0180
6.20	-0.0096	0.00837	0.03386	0.02478	0.04818	0.0173
6.25	-0.0099	0.00879	0.03566	0.02393	0.04681	0.0166
6.30	-0.0103	0.00920	0.03741	0.02309	0.04540	0.0160
6.35	-0.0106	0.00960	0.03911	0.02226	0.04395	0.0153
6.40	-0.0110	0.00999	0.04077	0.02145	0.04246	0.0146
6.45	-0.0113	0.01037	0.04237	0.02064	0.04094	0.0140
6.50	-0.0116	0.01074	0.04392	0.01983	0.03939	0.0133
6.55	-0.0120	0.01110	0.04542	0.01903	0.03781	0.0126
6.60	-0.0123	0.01146	0.04686	0.01824	0.03620	0.0120
6.65	-0.0126	0.01181	0.04824	0.01745	0.03457	0.0113

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
6.70	-0.0129	0.01215	0.04957	0.01667	0.03291	0.0106
6.75	-0.0132	0.01248	0.05083	0.01589	0.03123	0.0100
6.80	-0.0135	0.01281	0.05203	0.01511	0.02953	0.0093
6.85	-0.0138	0.01313	0.05317	0.01434	0.02782	0.0086
6.90	-0.0141	0.01344	0.05424	0.01357	0.02609	0.0080
6.95	-0.0144	0.01375	0.05525	0.01280	0.02435	0.0073
7.00	-0.0146	0.01405	0.05619	0.01203	0.02259	0.0066
7.05	-0.0149	0.01434	0.05707	0.01126	0.02083	0.0060
7.10	-0.0151	0.01463	0.05788	0.01050	0.01906	0.0053
7.15	-0.0154	0.01491	0.05862	0.00974	0.01728	0.0046
7.20	-0.0157	0.01519	0.05930	0.00897	0.01550	0.0040
7.25	-0.0159	0.01546	0.05991	0.00821	0.01372	0.0033
7.30	-0.0161	0.01572	0.06045	0.00746	0.01195	0.0026
7.35	-0.0164	0.01598	0.06093	0.00670	0.01017	0.0020
7.40	-0.0166	0.01624	0.06134	0.00594	0.00840	0.0013
7.45	-0.0168	0.01649	0.06168	0.00519	0.00664	0.0006
7.50	-0.0170	0.01673	0.06196	0.00443	0.00488	-0.0000
7.55	-0.0173	0.01697	0.06217	0.00368	0.00314	-0.0007
7.60	-0.0175	0.01720	0.06232	0.00293	0.00140	-0.0014
7.65	-0.0177	0.01743	0.06240	0.00218	-0.00032	-0.0021
7.70	-0.0179	0.01765	0.06242	0.00143	-0.00202	-0.0027
7.75	-0.0181	0.01787	0.06238	0.00068	-0.00371	-0.0034
7.80	-0.0183	0.01808	0.06228	-0.00006	-0.00538	-0.0041
7.85	-0.0184	0.01829	0.06212	-0.00081	-0.00704	-0.0047
7.90	-0.0186	0.01849	0.06190	-0.00155	-0.00867	-0.0054
7.95	-0.0188	0.01869	0.06163	-0.00229	-0.01027	-0.0061
8.00	-0.0190	0.01889	0.06130	-0.00303	-0.01186	-0.0067
8.05	-0.0191	0.01908	0.06091	-0.00377	-0.01342	-0.0074
8.10	-0.0193	0.01926	0.06047	-0.00451	-0.01496	-0.0081
8.15	-0.0195	0.01944	0.05998	-0.00525	-0.01646	-0.0087
8.20	-0.0196	0.01962	0.05944	-0.00599	-0.01794	-0.0094
8.25	-0.0198	0.01979	0.05886	-0.00672	-0.01939	-0.0101
8.30	-0.0199	0.01996	0.05822	-0.00745	-0.02082	-0.0107
8.35	-0.0201	0.02012	0.05755	-0.00818	-0.02221	-0.0114
8.40	-0.0202	0.02028	0.05683	-0.00892	-0.02357	-0.0121
8.45	-0.0204	0.02044	0.05607	-0.00964	-0.02489	-0.0127
8.50	-0.0205	0.02059	0.05527	-0.01037	-0.02619	-0.0134
8.55	-0.0206	0.02074	0.05444	-0.01110	-0.02745	-0.0141
8.60	-0.0208	0.02089	0.05357	-0.01182	-0.02868	-0.0147
8.65	-0.0209	0.02103	0.05267	-0.01255	-0.02987	-0.0154
8.70	-0.0210	0.02117	0.05174	-0.01327	-0.03104	-0.0161
8.75	-0.0211	0.02130	0.05078	-0.01399	-0.03216	-0.0167
8.80	-0.0212	0.02143	0.04980	-0.01471	-0.03325	-0.0174
8.85	-0.0214	0.02156	0.04879	-0.01543	-0.03431	-0.0181
8.90	-0.0215	0.02169	0.04776	-0.01615	-0.03533	-0.0187

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
8.95	-0.0216	0.02181	0.04671	-0.01687	-0.03631	-0.0194
9.00	-0.0217	0.02193	0.04564	-0.01758	-0.03726	-0.0201
9.05	-0.0218	0.02204	0.04456	-0.01830	-0.03818	-0.0207
9.10	-0.0219	0.02216	0.04347	-0.01901	-0.03906	-0.0214
9.15	-0.0220	0.02227	0.04236	-0.01972	-0.03990	-0.0221
9.20	-0.0221	0.02238	0.04124	-0.02043	-0.04071	-0.0227
9.25	-0.0222	0.02248	0.04012	-0.02114	-0.04149	-0.0234
9.30	-0.0223	0.02258	0.03899	-0.02185	-0.04223	-0.0241
9.35	-0.0224	0.02268	0.03786	-0.02256	-0.04294	-0.0247
9.40	-0.0224	0.02278	0.03673	-0.02326	-0.04362	-0.0254
9.45	-0.0225	0.02288	0.03560	-0.02397	-0.04426	-0.0261
9.50	-0.0226	0.02297	0.03447	-0.02468	-0.04487	-0.0267
9.55	-0.0227	0.02306	0.03335	-0.02538	-0.04545	-0.0274
9.60	-0.0228	0.02315	0.03223	-0.02608	-0.04600	-0.0281
9.65	-0.0229	0.02324	0.03112	-0.02678	-0.04652	-0.0287
9.70	-0.0229	0.02332	0.03003	-0.02749	-0.04701	-0.0294
9.75	-0.0230	0.02340	0.02894	-0.02819	-0.04748	-0.0301
9.80	-0.0231	0.02348	0.02787	-0.02889	-0.04791	-0.0307
9.85	-0.0231	0.02356	0.02681	-0.02958	-0.04832	-0.0314
9.90	-0.0232	0.02364	0.02577	-0.03028	-0.04870	-0.0321
9.95	-0.0233	0.02371	0.02475	-0.03098	-0.04906	-0.0327
10.00	-0.0233	0.02378	0.02375	-0.03168	-0.04939	-0.0334
10.05	-0.0234	0.02385	0.02277	-0.03237	-0.04970	-0.0341
10.10	-0.0235	0.02392	0.02181	-0.03307	-0.04999	-0.0347
10.15	-0.0235	0.02399	0.02088	-0.03376	-0.05026	-0.0354
10.20	-0.0236	0.02405	0.01997	-0.03445	-0.05051	-0.0361
10.25	-0.0236	0.02412	0.01908	-0.03515	-0.05073	-0.0367
10.30	-0.0237	0.02418	0.01823	-0.03584	-0.05094	-0.0374
10.35	-0.0237	0.02424	0.01740	-0.03653	-0.05114	-0.0381
10.40	-0.0238	0.02430	0.01660	-0.03722	-0.05131	-0.0387
10.45	-0.0239	0.02436	0.01583	-0.03791	-0.05148	-0.0394
10.50	-0.0239	0.02442	0.01510	-0.03860	-0.05163	-0.0401
10.55	-0.0239	0.02447	0.01439	-0.03929	-0.05176	-0.0407
10.60	-0.0240	0.02452	0.01372	-0.03998	-0.05189	-0.0414
10.65	-0.0240	0.02458	0.01308	-0.04067	-0.05200	-0.0421
10.70	-0.0241	0.02463	0.01248	-0.04136	-0.05211	-0.0427
10.75	-0.0241	0.02468	0.01190	-0.04204	-0.05221	-0.0434
10.80	-0.0242	0.02473	0.01137	-0.04273	-0.05230	-0.0441
10.85	-0.0242	0.02477	0.01087	-0.04342	-0.05238	-0.0447
10.90	-0.0243	0.02482	0.01040	-0.04410	-0.05246	-0.0454
10.95	-0.0243	0.02487	0.00997	-0.04479	-0.05254	-0.0461
11.00	-0.0243	0.02491	0.00957	-0.04547	-0.05262	-0.0467
11.05	-0.0244	0.02495	0.00921	-0.04616	-0.05269	-0.0474
11.10	-0.0244	0.02499	0.00889	-0.04684	-0.05276	-0.0481
11.15	-0.0245	0.02504	0.00860	-0.04752	-0.05283	-0.0487

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
11.20	-0.0245	0.02508	0.00835	-0.04821	-0.05291	-0.0506
11.25	-0.0249	0.02519	0.00820	-0.04889	-0.05299	-0.0499
11.30	-0.0246	0.02521	0.00801	-0.04959	-0.05307	-0.0493
11.35	-0.0245	0.02516	0.00778	-0.05029	-0.05316	-0.0486
11.40	-0.0242	0.02503	0.00750	-0.05098	-0.05325	-0.0479
11.45	-0.0239	0.02481	0.00717	-0.05163	-0.05334	-0.0473
11.50	-0.0235	0.02452	0.00680	-0.05224	-0.05342	-0.0466
11.55	-0.0230	0.02415	0.00639	-0.05279	-0.05350	-0.0459
11.60	-0.0224	0.02371	0.00593	-0.05327	-0.05357	-0.0453
11.65	-0.0218	0.02320	0.00542	-0.05369	-0.05362	-0.0446
11.70	-0.0212	0.02264	0.00488	-0.05402	-0.05366	-0.0439
11.75	-0.0204	0.02201	0.00429	-0.05427	-0.05369	-0.0433
11.80	-0.0197	0.02133	0.00366	-0.05444	-0.05369	-0.0426
11.85	-0.0189	0.02061	0.00299	-0.05452	-0.05367	-0.0419
11.90	-0.0181	0.01984	0.00229	-0.05452	-0.05362	-0.0413
11.95	-0.0172	0.01904	0.00155	-0.05443	-0.05355	-0.0406
12.00	-0.0163	0.01820	0.00077	-0.05426	-0.05345	-0.0399
12.05	-0.0154	0.01734	-0.00004	-0.05401	-0.05333	-0.0393
12.10	-0.0145	0.01646	-0.00088	-0.05367	-0.05318	-0.0386
12.15	-0.0136	0.01556	-0.00175	-0.05327	-0.05300	-0.0379
12.20	-0.0127	0.01464	-0.00264	-0.05280	-0.05278	-0.0373
12.25	-0.0117	0.01372	-0.00357	-0.05226	-0.05254	-0.0366
12.30	-0.0108	0.01279	-0.00451	-0.05165	-0.05227	-0.0359
12.35	-0.0099	0.01186	-0.00548	-0.05099	-0.05196	-0.0353
12.40	-0.0089	0.01093	-0.00647	-0.05028	-0.05162	-0.0346
12.45	-0.0080	0.01001	-0.00748	-0.04952	-0.05125	-0.0339
12.50	-0.0071	0.00909	-0.00850	-0.04872	-0.05085	-0.0333
12.55	-0.0063	0.00818	-0.00954	-0.04787	-0.05041	-0.0326
12.60	-0.0054	0.00729	-0.01059	-0.04700	-0.04994	-0.0319
12.65	-0.0045	0.00640	-0.01165	-0.04609	-0.04944	-0.0312
12.70	-0.0037	0.00554	-0.01272	-0.04516	-0.04891	-0.0306
12.75	-0.0029	0.00469	-0.01380	-0.04420	-0.04834	-0.0299
12.80	-0.0021	0.00386	-0.01488	-0.04323	-0.04774	-0.0292
12.85	-0.0013	0.00305	-0.01596	-0.04224	-0.04711	-0.0286
12.90	-0.0005	0.00226	-0.01705	-0.04124	-0.04645	-0.0279
12.95	0.0002	0.00149	-0.01813	-0.04023	-0.04576	-0.0272
13.00	0.0009	0.00074	-0.01921	-0.03921	-0.04504	-0.0266
13.05	0.0016	0.00001	-0.02029	-0.03819	-0.04429	-0.0259
13.10	0.0016	-0.00069	-0.02135	-0.03717	-0.04351	-0.0252
13.15	0.0023	-0.00138	-0.02242	-0.03618	-0.04270	-0.0246
13.20	0.0029	-0.00205	-0.02347	-0.03522	-0.04186	-0.0239
13.25	0.0035	-0.00269	-0.02451	-0.03427	-0.04100	-0.0232
13.30	0.0041	-0.00333	-0.02553	-0.03333	-0.04011	-0.0226
13.35	0.0047	-0.00394	-0.02654	-0.03238	-0.03920	-0.0219
13.40	0.0053	-0.00454	-0.02754	-0.03144	-0.03826	-0.0212

t	u	df	dfi	Pg	Pgi	Pd
13.45	0.0059	-0.00512	-0.02852	-0.03050	-0.03729	-0.0206
13.50	0.0064	-0.00568	-0.02948	-0.02955	-0.03630	-0.0199
13.55	0.0069	-0.00623	-0.03041	-0.02861	-0.03530	-0.0192
13.60	0.0074	-0.00676	-0.03133	-0.02766	-0.03427	-0.0186
13.65	0.0079	-0.00727	-0.03223	-0.02673	-0.03322	-0.0179
13.70	0.0084	-0.00777	-0.03310	-0.02579	-0.03215	-0.0172
13.75	0.0088	-0.00825	-0.03394	-0.02486	-0.03106	-0.0166
13.80	0.0093	-0.00872	-0.03476	-0.02394	-0.02996	-0.0159
13.85	0.0097	-0.00917	-0.03555	-0.02302	-0.02884	-0.0152
13.90	0.0101	-0.00960	-0.03631	-0.02212	-0.02770	-0.0146
13.95	0.0105	-0.01002	-0.03705	-0.02122	-0.02655	-0.0139
14.00	0.0109	-0.01043	-0.03775	-0.02032	-0.02539	-0.0132
14.05	0.0113	-0.01082	-0.03843	-0.01944	-0.02421	-0.0126
14.10	0.0116	-0.01120	-0.03907	-0.01856	-0.02303	-0.0119
14.15	0.0120	-0.01157	-0.03968	-0.01770	-0.02183	-0.0112
14.20	0.0123	-0.01193	-0.04026	-0.01684	-0.02063	-0.0106
14.25	0.0126	-0.01227	-0.04081	-0.01599	-0.01942	-0.0099
14.30	0.0130	-0.01261	-0.04132	-0.01515	-0.01820	-0.0092
14.35	0.0133	-0.01293	-0.04180	-0.01431	-0.01698	-0.0086
14.40	0.0136	-0.01324	-0.04225	-0.01349	-0.01575	-0.0079
14.45	0.0139	-0.01354	-0.04266	-0.01267	-0.01452	-0.0072
14.50	0.0141	-0.01384	-0.04304	-0.01186	-0.01328	-0.0066
14.55	0.0144	-0.01413	-0.04339	-0.01105	-0.01205	-0.0059
14.60	0.0147	-0.01440	-0.04370	-0.01026	-0.01081	-0.0052
14.65	0.0149	-0.01467	-0.04397	-0.00947	-0.00958	-0.0046
14.70	0.0152	-0.01494	-0.04421	-0.00868	-0.00834	-0.0039
14.75	0.0154	-0.01519	-0.04442	-0.00791	-0.00711	-0.0032
14.80	0.0157	-0.01544	-0.04459	-0.00713	-0.00588	-0.0026
14.85	0.0159	-0.01569	-0.04473	-0.00637	-0.00466	-0.0019
14.90	0.0161	-0.01592	-0.04484	-0.00560	-0.00344	-0.0012
14.95	0.0164	-0.01615	-0.04491	-0.00484	-0.00223	-0.0006
15.00	0.0166	-0.01638	-0.04495	-0.00409	-0.00102	0.0000

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO - ITS

EL-1799 TUGAS AKHIR - 6 SKS

NAMA MAHASISWA : SYAHRUL FIZA
 NOMOR POKOK : 293 220 2188
 BIDANG STUDI : TEKNIK SISTEM TENAGA
 TUGAS DIBERIKAN : OKTOBER 1995
 TUGAS DISELESAIKAN : MARET 1996
 DOSEN PEMBIMBING : IR. H. M. DJOKO SANTOSO
 : IR. IMAM ROBANDI, M.T.
 JUDUL :

STUDI PENGENDALIAN FREKUENSI
DENGAN MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY
PADA PLTU PAITON


Uraian Tugas Akhir :

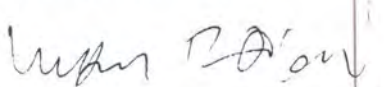
Dalam pengaturan frekuensi pada sistem tenaga listrik dapat dilakukan dengan metode-metode kontrol. Namun dalam penelitian ini akan dicoba pengendalian frekuensi dengan menggunakan Logika Fuzzy. Dasar pemikiran ini diambil dengan bertitik tolak kepada beberapa pertimbangan yaitu dilihat dari keunggulan Logika Fuzzy. Dalam konsep Logika Fuzzy tidak dituntut pemodelan matematik yang dalam kenyataannya cukup rumit, namun informasi cukup didapat dari hasil pengalaman operator. Oleh sebab itu baik tidaknya hasil yang didapat tergantung dari operator itu bekerja. Dari uraian diatas penerapan konsep Logika Fuzzy akan menjadi tepat kalau diterapkan pada plan- plan yang berorde tinggi.

Surabaya, 2 Oktober 1995

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

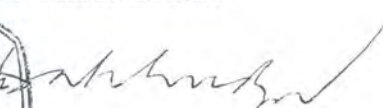

Ir. H. M. Djoko Santoso
 NIP. 130 524 518

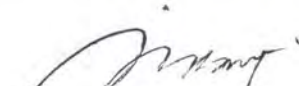

Ir. Imam Robandi, M.T.
 NIP. 131 918 687

Mengetahui/Menyetujui :

Ketua
 Jurusan Teknik Elektro

Koordinator
 Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga


Ir. H. Moch. Salehudin, MEng, Sc.
 NIP. 130 532 026


Ir. Sidarjanto
 NIP. 130 532 009



USULAN TUGAS AKHIR

- A. JUDUL TUGAS AKHIR : STUDI PENGENDALIAN FREKUENSI DENGAN MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY PADA PLTU PAITON
- B. RUANG LINGKUP : - ANALISIS SISTEM TENAGA
- SISTEM PENGATURAN DENGAN LOGIKA FUZZY
- SISTEM PENGATURAN LINEAR
- KENDALI SISTEM TENAGA LISTRIK
- C. LATAR BELAKANG : PLTU Paiton merupakan salah satu penyuplai tenaga listrik utama pada sistem interkoneksi Jawa-Bali. Dalam sistem tenaga listrik tersebut memungkinkan terdapat gangguan yang bersifat transient dan dinamik. Gangguan dinamik ini disebabkan oleh perubahan beban yang relatif kecil, yang dapat menyebabkan terjadinya ayunan sebelum sistem kembali pada keadaan stabil. Untuk memperbaiki kinerja dinamik sistem (dalam hal ini frekuensi), dapat menggunakan salah satunya dengan Logika Fuzzy. Dalam konsep Logika Fuzzy tidak dituntut oleh pemodelan matematik yang cukup rumit. Kontrol Fuzzy hanya berdasarkan intuisi. Oleh sebab itu konsep Logika Fuzzy sangat tepat diterapkan pada plan yang berorde tinggi.
- D. PENELAAHAN STUDI : - Membentuk model matematis PLTU Paiton yang meliputi sistem jaringan, turbin dan sistem eksitasinya.
- Membentuk model dalam bentuk persamaan keadaan
- E. TUJUAN : Membuat rule - rule dari Logika Fuzzy yang akan dipakai untuk pengendalian frekuensi pada pembangkit.

- F. LANGKAH-LANGKAH : 1. Studi Literatur
2. Pendefenisian dan pengkajian masalah
3. Pengumpulan dan analisa data
4. Pembahasan analisa data
5. Penyelesaian masalah
6. Dokumentasi

- G. RELEVANSI : Memberikan alternatif perbaikan kinerja dinamik sistem jaringan tenaga listrik mesin tunggal dengan menggunakan Logika Fuzzy..

- H. JADWAL KEGIATAN :

KEGIATAN	BULAN KE					
	I	II	III	IV	V	VI
1. Persiapan						
2. Studi Literatur						
3. Pengumpulan Data						
4. Analisa Data						
5. Penyusunan Makalah						

- I. REFERENSI : - Katsuhiko Ogata, *State Space Analysis of Control System*, Prentice Hall inc., Englewood Cliff, New Jersey.
- M.A. Pai, *Power System Stability*, Holland Publishing Compagny, New York.
- Mohammad Rohmanuddin, *Fuzzy Logic Control System*, Laboratoria Instrumentasi dan kontrol, ITB, Bandung, 1994
- P. M Anderson & A.A. Fuoad, *Power System Control and Stability*, The Iowa State University Press Ames, Iowa 50010, First Edition, 1977

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Syahrul Fiza
Tempat/Tgl Lahir : Medan / 19 Mei 1970
Agama : Islam
Ayah : H. Darmansyah M.S
Ibu : Hj. Rosdiana

Penulis merupakan anak ke 1 dari 4 bersaudara

Pendidikan formal yang telah ditempuh adalah :

1. SD Mardi Lestari Medan, 1977 - 1983
2. SMP Negeri 6 Medan, 1983 - 1987
3. SMA Negeri 4 Medan, 1987 - 1989
4. Politeknik Elektro Universitas Sumatera Utara Medan, 1989 - 1992
5. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, melalui program Lintas Jalur pada tahun 1993